

82

РУКОВОДСТВА И ПОСОБИЯ
ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ И ВТУЗОВ

Б. С. АРКАНОВ

ИНЖЕНЕР-АГРОНОМ

ОРОШЕНИЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

1926

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

СПАРРО, Р. П., проф.

МЕЛИОРАТИВНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Стр. 153.

Ц. 1 р. 40 к.

Допущено в качестве руководства для с.-х. вузов.

СПАРРО, Р. П., проф.

ПОСОБИЕ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

(Печатается).

ШПЕТЛЕ, проф.

ОСУШЕНИЕ ПОЧВЫ ПОДЗЕМНЫМ ДРЕНАЖЕМ

Перев. с нем., с изменениями и дополнениями
инж.-агр. А. Д. ДУБАХА.

Стр. 95.

Ц. 1 р. 20 к.

Рекомендовано в качестве руководства для
гидротехнических факультетов с.-х. вузов.

ДОЛИНИНО-ИВАНСКИЙ, В. В.

РУЧНОЕ ШТАНГОВОЕ БУРЕНИЕ

Стр. 98.

Ц. 90 к.

КАЙКОВ, М.

БУРЕНИЕ НА ВОДУ И УСТРОЙСТВО ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ

(Печатается)

РУКОВОДСТВА И ПОСОБИЯ
ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ И ВТУЗОВ

Б. С. АРКАНОВ

ИНЖЕНЕР-АГРОНОМ

О Р О Ш Е Н И Е

ОПЫТ ИЗЛОЖЕНИЯ ОСНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРО-
СИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКТИВНЫХ
ОСОБЕННОСТЕЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

*Научно-технической секцией Государственного
Ученого Совета допущено в качестве пособия
для техникумов и втузов*

2109

С/а

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА ☆ 1926 ☆ ЛЕНИНГРАД

Главлит № 59010.

Гиз № 15093.

Тираж 4000 экз.

Типография Госиздата „Красный Пролетарий“. Москва, Пименовская, 16.



Рис. 1а. Мирзачульская степь до орошения.



Рис. 16. Мирзачульская степь после орошения.

ВВЕДЕНИЕ.

ОРОШЕНИЕ КАК ОДИН ИЗ ВИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕЛИОРАЦИЙ.

При падении урожаев в каком-либо хозяйстве стремятся прежде всего установить причины такого падения. Чаще всего в средних климатических условиях такое падение является следствием понижения количества питательных веществ в почве. В условиях засушливого климата наблюдается не только падение урожая, но и полное отсутствие прироста сухой массы растения, при чем в последнем случае причиной этого является недостаточность содержания влаги в почве, необходимой для растворения питательных солей почвы и потребной для водного питания растения. В условиях климата с чередованием нормальной и недостаточной влажности почвы — в полусухих районах — падение урожайности объясняется, главным образом, также отсутствием достаточных количеств влаги в почве, не ежегодно и не во все моменты периода роста растений потребной для образования воднорастворимых соединений, необходимых для питания растений. Для сельского хозяйства его доходность определяется благоприятным соотношением следующих факторов: почвы, почвенной влаги, почвенного воздуха и растений. Лучшие почвы, с наилучшим содержанием влаги в них, с нормальным содержанием почвенного воздуха, при наиболее удачно для данных природных условий подобранном растении или сообществе их, дают наибольшую доходность сельского хозяйства. Отклонение же хотя бы одного из перечисленных выше основных факторов в сторону ухудшения создает понижение доходности сельского хозяйства.

Следовательно повышение доходности сельского хозяйства, в зависимости от того, какой из факторов находится в наихудшем положении, может быть достигнуто следующими путями:

- а) путем улучшения почв — их физических или химических свойств;
- б) путем улучшения соотношения между содержанием почвенной влаги и почвенного воздуха;
- в) путем улучшения культурного растительного покрова.

Отбрасывая пока возможность изменения культурного растительного покрова, мы остановимся на тех мероприятиях, которые при прочих равных условиях поведут к улучшению остальных трех факторов сельского хозяйства —

почвы, почвенной влаги и почвенного воздуха. Эти мероприятия могут быть намечены в следующем виде:

1. Улучшение почв может быть достигнуто путем изменения их *механического состава* — кольматаж почв, глубокая обработка почвенного горизонта, культивирование соответствующих растений в целях накопления органических веществ в почве и пр.

2. Улучшение почв может быть достигнуто путем изменения их *физических свойств и структуры* — канализация в целях повышения стока, глубокая обработка, кольматаж и пр.

3. Улучшение почв может быть достигнуто путем изменения их *химических свойств* — выщелачивание и промывка почв, внесение тех или иных видов концентрированных химических соединений и пр.

4. Улучшение *соотношения между почвенной влагой и почвенным воздухом* может быть достигнуто путем подведения определенными приемами влаги извне, путем отвода влаги канализацией и дренированием почв, путем изменения растительного покрова и пр.

Намеченные нами (не в полном объеме) мероприятия за весьма небольшим исключением являются процессами длительными — эффект их сказывается не сразу, а по прошествии более или менее длительного периода. С другой стороны, эти мероприятия коренным образом видоизменяют соотношения между четырьмя основными факторами сельского хозяйства. Наконец, эти мероприятия в результате их создают стойкие изменения основных факторов сельского хозяйства: раз созданные, эти изменения остаются на продолжительное время. Следовательно намеченные нами мероприятия дают *длительные и стойкие коренные улучшения* основных факторов сельского хозяйства. Для окончательной формулировки вопроса нам остается еще остановиться на тех приемах, с помощью которых можно провести мероприятия по коренному улучшению основных факторов сельского хозяйства. Эти приемы могут быть соединены в две основные группы:

1. Приемы *агрономических мелиораций* — поверхностная обработка почв, введение удобрений, выбор определенного типа растения, выбор того или иного типа растительных сообществ (свообороты) и пр.

2. Приемы *сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций* — регулирование поверхностного и внутреннего стока, кольматаж, выщелачивание и промывка засоленных почв и пр.

Формулируя сказанное выше, мы, в соответствии с проф. А. Н. Костяковым¹⁾, определяем понятие сельскохозяйственной гидротехнической мелиорации следующим образом: под этим видом мелиораций мы понимаем группу приемов коренного (более или менее стойкого и длительного) улучшения природных естественных условий сельского хозяйства

¹⁾ А. Н. Костяков. Задачи и нужды исследований в области мелиораций в России. Изд. 1923 г., стр. 20.

в отношении почв, почвенной влаги и почвенного воздуха, осуществляемых с помощью сельскохозяйственных гидротехнических сооружений.

На вид и характер, а также на типы сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций¹⁾ влияет, главным образом, почвенная влага. Поэтому то или иное содержание влаги в почве вызывает применение различных видов сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций:

1. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации, направленные к коренному улучшению соотношения между почвенной влагой и почвенным воздухом в том случае, когда *влага в почве находится в максимуме*.

2. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации, направленные к коренному улучшению соотношения между почвенной влагой и почвенным воздухом в том случае, когда *влага в почве находится в минимуме*.

3. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации, направленные к коренному улучшению физических, механических и химических свойств почв в том случае, когда *влага и воздух находятся в оптимуме, т.-е. в наилучшем соотношении, но почва обладает неблагоприятными физическими, механическими и химическими свойствами*.

Мы не выделяем в отдельную группу тех типов сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций, которые направлены прямо к изменению климата данного района — *климатических мелиораций*¹⁾ — в силу того, что этот род мелиораций не является темой нашей работы.

Увяжем, наконец, данную нами выше классификацию с терминологией, которая завоевала себе права гражданства среди мелиораторов. Первый тип мелиораций нашей классификации — мелиорации, направленные к коренному улучшению соотношения между почвенной влагой и почвенным воздухом в том случае, когда *влага находится в почве в максимуме* — носят название осушения, осушительных мелиораций.

Второй тип мелиораций в приведенной классификации — мелиорации, направленные к коренному улучшению соотношения между почвенной влагой и почвенным воздухом в том случае, когда *влага находится в почве в минимуме* — носят название орошения, ирригации, оросительных мелиораций.

Наконец, последний тип мелиораций по нашей классификации — мелиорации, направленные к коренному улучшению почв, *когда, при оптимальных (наилучших) содержании влаги в почве и соотношении между почвенной влагой и почвенным воздухом, почва обладает неблагоприятными физическими, механическими и химическими свойствами* — включает следующие виды мелиораций:

- а) дренажирование тяжелых почв,
- б) кольматаж пористых почв,

1) Проф. А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 20.

в) регулирование стока внутреннего и поверхностного,
г) удобрительное и окислительное орошение,
д) выщелачивание и промывка засоленных почв,
могущих быть объединенными под общим названием — почвенные мелиорации.

Изложенное выше дает нам возможность сделать следующий вывод: орошением мы будем называть такой тип сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций, когда приходится „при посредстве надлежаще количественно управляемого водного тока, создаваемого в результате использования и регулирования естественного стока вод и связанного в начальной своей стадии с естественным водоемом“ ¹⁾, улучшать коренным образом соотношения между почвенной влагой и почвенным воздухом в том случае, если влага в почве находится в минимуме.

1) А. Н. Костяков. Указ. работа.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ОБЩИЕ ДАННЫЕ ОБ ОРОШЕНИИ.

§ 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОРОШЕНИЯ.

До последнего момента точной формулировки целей и задач орошения, как одного из видов сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций, не было дано. Шарпантье-де-Коссиньи дает формулировку совершенно неудовлетворительную, ибо таковая касается только той энергии, которая передается оросительной системой, но которая не указывает объекта воздействия при орошении. В. Дингельштедт и Л. Винцент дополняют этот недостаток, но опять-таки в неисчерпывающей форме. Более точное определение дает С. Раунер — в его определении мы находим и цель орошения и объект воздействия при орошении. Наконец А. Н. Костяков дает почти точное определение орошения, но его формулировка не вполне охватывает основные задачи и цели орошения. Все же его формулировка является среди известных в русской литературе наиболее полной, поэтому мы воспользуемся ею для определения задач и целей орошения, как одного из видов сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций.

Уместно предварительно указать, что в настоящем руководстве мы имеем в виду один лишь вид оросительных мелиораций — орошение, как вид сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций, направленный к коренному улучшению одного из факторов сельского хозяйства — воды, в том случае, когда он при естественных условиях находился в минимуме.

Орошение удобрительное, орошение направленное к изменению физических свойств почв — нами в настоящей работе не будут затронуты.

Основными задачами орошения являются коренные улучшения природных условий сельского хозяйства в том случае, когда в данном районе в почвах один из факторов сельского хозяйства — влага — находится в минимуме, недостаточном для получения наибольшей доходности от культурного растения или сообществ их, достигаемых применением тех или иных гидротехнических методов.

Следовательно, задачей орошения является улучшение соотношения между влагой в почве и воздухом в почве, в целях такого воздействия на растение, которое создаст наибольшую, мыслимую при данным естественно-исторических, природных и экономических условиях, продукцию сельского хозяйства.

§ 2. ЕСТЕСТВЕННО-ИСТОРИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ОРОШЕНИЕ.

Для исследователей сельского хозяйства, а еще более для тех, кто в своей деятельности должен стремиться к повышению доходности сельского хозяйства, стоит неразрешимая задача довести до наивыгоднейшего положения все те факторы, которые прямо или косвенно влияют на величину доходности. Здесь мы имеем и растение, и почвы, климат, влагу, быт, экономику и пр. Если же необходимо разрешать эту задачу в применении к такому хозяйству, где применяются мелиорации того или иного вида, то задача еще более усложняется. Поэтому до сих пор не созданы универсальные теории для построения наивыгоднейших форм хозяйств, а приходится к каждому конкретному случаю относиться со специальным требованием, каждое хозяйство в отдельности или группу однородных хозяйств рассматривать как самодовлеющую величину. Центр тяжести в установлении для данных естественно-исторических и природно-бытовых условий наивыгоднейших форм сельского хозяйства переносится на коренные улучшения этих условий в том случае, если хоть одно из них отклоняется от оптимума. Последнее с особенной силой проявляется в задаче построения мелиоративного хозяйства с наибольшей доходностью вообще и в частности — в задаче построения орошаемого хозяйства. Следовательно, первым шагом при определении наиболее доходного орошаемого хозяйства является учет условий, в котором существует это хозяйство, учет степени влияния каждого из них на величину доходности. Получив такого рода сведения, уже легко построить и схему тех приемов, коими возможно подойти к улучшению (коренному) этих условий.

А. К л и м а т.

В ряду факторов, влияющих в той или иной степени на орошаемое хозяйство, определяющих собой необходимость применения в сельском хозяйстве методов оросительных мелиораций, главенствующую роль играет климат [и отдельные слагаемые его — осадки, испарение, влажность воздуха, температура, солнечная инсоляция, давление и пр.

Дабы с большей ясностью установить влияние климата на орошаемое хозяйство, приведем баланс влаги в активном слое почвы, т.е. в том слое ее, откуда растение получает питание. В общей формулировке, предложенной проф. А. Н. Костяковым¹⁾, этот баланс выражается для периода,

¹⁾ Проф. А. Н. Костяков. Основные элементы расчета оросительных систем, стр. 26.

охватывающего период между двумя поливами, когда влага, введенная в почву извне во время полива, а также влага, имевшаяся в почве перед первым поливом, расходуется на потребности почвы и растения, выражается следующей формулой:

$$m + w_0 + P = w_1 + E, \quad (1)$$

где m — то количество влаги, которое вводится во время полива на единицу площади, занятой данной почвой;

w_0 — количество влаги в единице площади той же почвы, имевшееся перед поливом;

P — количество влаги, выпавшей в виде осадков в рассматриваемый период на единицу площади, занятой данной почвой;

w_1 — количество влаги в единице площади, занятой данной почвой, ниже которого наступает понижение урожайности растения;

E — количество влаги, расходуемое почвой и растением и испарившееся с водной поверхности в рассматриваемый период.

Таким образом за единицей площади данной почвы, занятой той или иной группой растений, приходуются количества влаги, полученные в виде дождя и полива и сохранившиеся к моменту полива; все это количество влаги расходуется на создание определенных запасов к концу рассматриваемого периода (таких запасов, при которых уже начнет понижаться продукция растений) и на покрытие потребностей растения и слоя почвы. Формула эта не вполне охватывает процесс в целом, ибо в части пассива не выделены те количества воды, которые идут на пополнение запасов грунтовых вод, не входящих в общий баланс, а в части актива — воды, получаемые путем капиллярного поднятия из близко залегающих грунтовых вод. Поэтому нам кажется, что более точной будет следующая формула:

$$w_0 + P + m + K = E + w_1 + G, \quad (2)$$

где, в дополнение к уже приведенным обозначениям:

K — количество влаги, поступившее в активный почвенный слой из ближайших к дневной поверхности горизонтов грунтовых вод путем капиллярного поднятия;

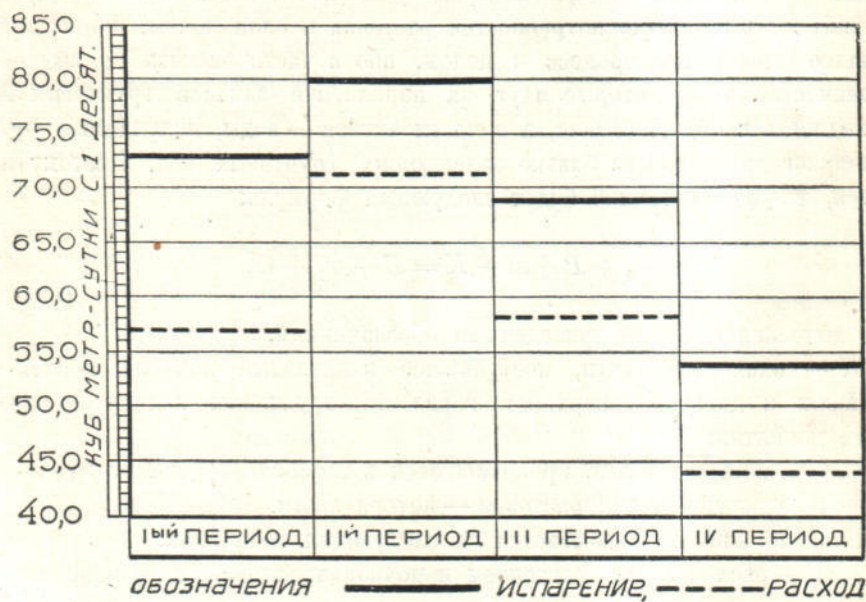
G — количество влаги, просочившееся в глубокие горизонты вод и сделавшееся недоступным для растения — потеря влаги.

Влияние климата сказывается на следующих величинах:

1. E — расход влаги растением и почвой находится в прямой зависимости от того или иного соотношения климатических факторов; например, при значительных температурах, значительной солнечной инсоляции, значительной величине испарения, эта величина повышается. Примером влияния изменения испарения на величину E служит следующая таблица и иллюстрационный график (см. черт. 1).

ТАБЛИЦА 1.

Культура	Ежесуточный расход с 1 дес. и испарение с поверхн. воды							
	I пер.		II пер.		III пер.		IV пер.	
	Ежесут. расх. в кб. м 1 день <i>E</i>	Испар. мм в 1 день	Ежесут. расх. в кб. м 1 день <i>E</i>	Испар. мм в 1 день	Ежесут. расх. в кб. м 1 день <i>E</i>	Испар. мм в 1 день.	Ежесут. расх. в кб. м 1 день <i>E</i>	Испар. мм в 1 день
Хлопчатник после пше- ницы	61	6,9	63	7,1	54	6,2	48	4,8
Хлопчатник после маша	46	6,9	84	7,1	61	6,2	38	4,8
Хлопчатник после джу- гары	61	6,9	67	7,1	59	6,2	43	4,8
Хлопчатник после хлоп- чатника	59	6,9	72	7,1	59	6,2	47	4,8
Среднее . . .	57	6,9	71	7,1	58	6,2	44	4,8



Черт. 1. График влияния величины испарения на ежесуточный расход воды растениями.

2. P — количество влаги, полученное из атмосферы; эта величина является одной из слагаемых актива в балансе влаги в почве и зависит от величины осадков.

3. На величины w_0 и w_1 также оказывает влияние климат, ибо как остающееся к началу полива количество воды, так и тот минимум влаги в почве, за которым наступает уже увядание растения, зависит от климата — чем выше t° , чем выше испарение и чем меньше осадки, тем меньше w_0 и тем больше должно быть w_1 .

Что касается отдельных элементов климата, то влияние их сказывается различно на сельском хозяйстве вообще и на орошаемом — в частности.

По значению их можно судить о возможности и благоприятствовании в смысле применения того или иного вида мелиораций. Рассмотрим влияние отдельных элементов климата на оросительные мелиорации и установим значение их в том случае, когда применяются для коренных улучшений природных условий сельского хозяйства оросительные мелиорации.

I. Осадки. Влияние осадков на сельское хозяйство сказывается в следующем:

Отсутствие достаточного количества осадков в течение вегетационного периода вызывает понижение продукции сельского хозяйства. Это явление может быть систематическим, повторяющимся из года в год, и явлением периодическим — проявляющимся с известными промежутками.

Наконец, для районов, где осадков настолько достаточно выпадает, что нет речи о падении продукции сельского хозяйства в силу недостаточной влажности, оросительные мелиорации не применяются.

В зависимости от того, покрывает ли величина P (в формуле 2) потребности почвы и растений во влаге, можно для всего земного шара и любой географической области наметить три условия естественного увлажнения почв:

- 1) P не покрывает всегда потребности почвы и растений;
- 2) P не покрывает потребности почвы и растений периодически;
- 3) P всегда покрывает (и с избытком) потребности почвы и растений.

Трем этим условиям естественного увлажнения соответствуют свои области, которым возможно придать следующие наименования (применительно к принятым в мелиоративной практике):

1. Области недостаточного естественного увлажнения, области засушливые — те области, где недостаток осадков на покрытие расходной части баланса влаги представляет из себя явление систематически из года в год повторяющееся, и где, в силу этой причины, урожай систематически далек от своего наибольшего значения.

2. Области неустойчивого естественного увлажнения, области полузасушливые — те области, где недостаток осадков на покрытие расходной части баланса влаги представляет из себя явление периодическое, и где урожай в иные годы может достигать своего наибольшего значения.

3. Области нормального и избыточного естественного увлажнения — те области, где величиной P или вполне или даже с избытком покрывается расходная часть баланса влаги.

Нередко третья область в свою очередь подразделяется на два района — район нормального увлажнения и район избыточного увлажнения, но для наших целей возможно ограничиться тремя областями, совпадающими со следующими типами мелиораций:

- 1) 1-я область — оросительные мелиорации;
- 2) 2-я область — увлажнительные и оросительные мелиорации;
- 3) 3-я область — осушительные мелиорации и мелиорации по регулированию поверхностного и внутреннего стока.

Из изложенного совершенно очевидно, что эти области должны характеризоваться теми или иными количествами (годовыми суммами) осадков, т.е. возможно в применении к той или иной территории выделить на карте или плане ее границы этих областей. Для этого нужно знать цифровое значение годовой цифры осадков, характерной для области. Русская и зарубежная литература дает некоторые данные по этому вопросу. С. Раунер в цитированной нами работе указывает на годовую сумму осадков в 300 мм, как границу, разделяющую первую (засушливую) область от области второй (полузасушливой); проф. Е. Е. Скорняков¹⁾ намечает следующие три области:

1. Район нормально-увлажненный — осадков > 500 мм.
2. Район полузасушливый — осадков от 500 мм до 250 мм.
3. Район засушливый — осадков < 250 мм.

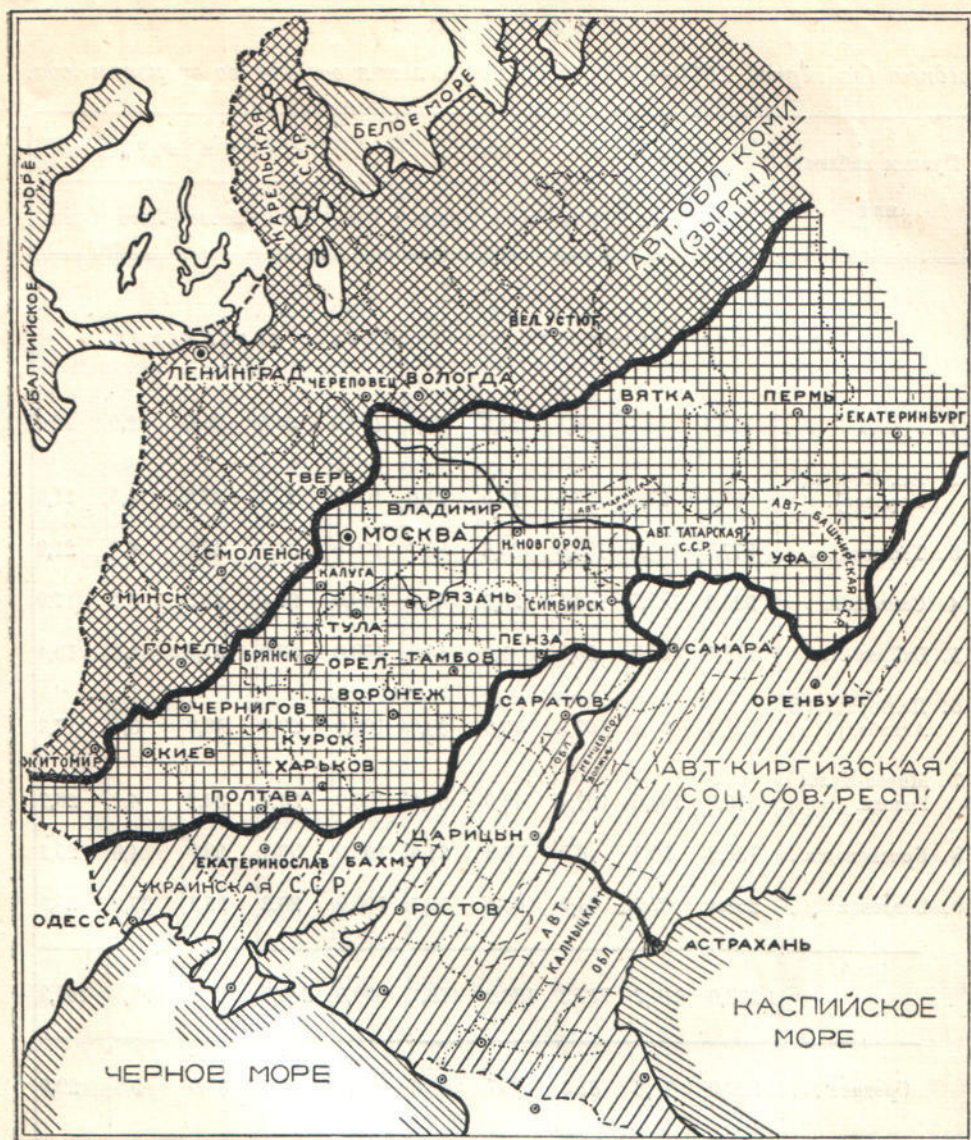
Наконец, Н. А. Костяков в цитированной уже нами работе („Задачи и нужды исследований в области мелиорации в России“) применяет метод климатических коэффициентов²⁾ для мелиоративного районирования, намечая схематически в приводимой нами картограмме (черт. 2) вышеуказанные области.

Таким образом возможно более или менее точно определить положение тех территорий в СССР (и везде, если такой анализ цифр будет выполнен и для любой территории), где необходимо для получения наибольшего эффекта от сельского хозяйства применение оросительных мелиораций.

Ниже мы приводим характеристику значений годовой, периодической по временам года сумм осадков, суммы осадков за вегетационный период, суммы осадков за периоды с $1/X$ по $1/IV$ и с $1/IV$ по $1/X$ и соотношение между твердыми и жидкими осадками в общей годовой сумме осадков для наиболее характерных точек СССР за период с 1900 по 1908 г.г. включительно (см. таблицы 2 и 4).

1) Проф. Е. Е. Скорняков. Искусственное орошение небольших участков (введение).

2) Климатический коэффициент есть отношение количества осадков к средней летней температуре.



ОБЛАСТИ



ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ



НЕУСТОЙЧИВОГО УВЛАЖНЕНИЯ



НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ (ЗАСУШЛИВАЯ).

Черт. 2. Картограмма районов европейской части СССР различной степени естественного увлажнения.

ТАБЛИЦА 2

среднего (за период 1900—1908 и.) распределения осадков по временам года.

Пункты наблюдений	Осадки в мм					Осадки в ‰				
	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
I. Область недостаточного естественного увлажнения.										
1. Гурьев . . .	144,4	49,1	36,1	31,8	27,4	100,0	34,0	25,0	22,0	19,0
2. Ак.-Мечеть (б. Перовск). . .	99,8	27,2	36,5	14,5	21,6	100,0	27,3	36,6	14,5	21,6
3. Ташкент . . .	377,8	130,9	138,6	25,6	82,7	100,0	34,7	36,6	6,8	21,9
4. Самарканд . .	326,3	105,7	142,1	20,2	58,6	100,0	32,4	43,5	6,2	17,9
5. Байрам-Али .	118,1	40,0	60,9	1,3	15,9	100,0	33,9	51,6	1,1	13,4
6. Полторацк (б. Асхабад). . .	221,4	65,2	103,9	13,3	38,0	100,0	29,9	46,9	6,0	17,2
7. Мирза-Чуль (б. Голодн. степь).	313,6	109,6	107,4	13,0	83,6	100,0	34,9	34,2	4,1	26,7
8. Красноводск .	138,2	50,3	46,9	6,4	34,6	100,0	36,4	33,9	4,6	25,1
9. Скадовск . .	258,4	67,7	64,9	60,1	65,7	100,0	26,2	25,1	23,2	25,5
	1998,0	646,7	737,3	186,2	428,1	900,0	289,7	333,4	88,6	188,3
Среднее . .	222,0	71,8	81,9	20,7	47,6	100,0	32,2	37,0	9,8	20,9
II. Область неустойчивого естественного увлажнения.										
1. Одесса . . .	340,2	82,0	78,1	118,9	61,2	100,0	24,1	23,0	34,9	18,0
2. Уральск . . .	315,4	94,8	67,1	76,3	77,2	100,0	30,0	21,2	24,1	24,7
3. Астрахань . .	150,7	33,2	36,3	39,8	41,4	100,0	22,0	24,1	26,4	27,5
4. Кизляр . . .	311,7	69,5	75,3	109,7	87,2	100,0	20,3	22,1	32,1	25,5

Пункты наблюде- ний	О с а д к и в м м					О с а д к и в ‰				
	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
5. Екатериносл.	466,4	105,1	107,0	145,0	109,3	100,0	22,5	22,9	31,1	23,5
6. Тотанкой . .	434,0	96,1	99,6	148,7	89,6	100,0	22,1	22,9	33,8	21,2
7. Самара . . .	272,2	46,3	69,3	78,7	77,9	100,0	17,0	25,4	28,9	28,7
8. Камышин . .	240,9	58,3	49,0	62,7	70,9	100,0	24,2	20,3	26,0	29,5
9. Саратов . . .	365,1	86,5	67,0	108,7	102,9	100,0	23,7	18,3	29,8	28,2
10. Оренбург . .	352,8	92,8	68,1	104,2	87,7	100,0	26,3	19,3	29,5	24,9
11. Шуша	722,7	57,5	273,8	221,7	169,7	100,0	7,9	37,9	30,7	23,5
	4 002,1	821,1	990,6	1 214,4	975,0	1 100,0	240,1	257,4	327,3	274,2
Среднее . .	363,8	74,7	90,1	110,4	88,6	100,0	21,8	23,4	29,7	24,9

III. Область избыточного и нормального естественного увлажнения.

1. Персиановка.	360,9	66,8	92,2	112,4	89,5	100,0	18,5	25,6	31,1	24,8
2. Усть-Медве- дица	297,9	57,5	78,5	105,1	56,8	100,0	19,3	26,4	35,3	19,2
3. Москва . . .	563,5	82,6	113,5	217,2	150,2	100,0	14,7	20,1	33,5	26,7
4. Владимир . .	561,1	90,1	96,3	215,9	158,8	100,0	16,1	17,2	38,4	28,3
5. Ставрополь .	597,8	112,1	147,5	190,8	147,4	100,0	18,7	24,7	31,9	24,7
6. Луганск . . .	451,1	86,8	108,8	144,9	110,6	100,0	19,2	24,1	32,1	24,6
	2 832,3	495,9	636,8	986,3	713,3	600,0	106,4	138,1	207,3	148,3
Среднее . .	472,1	82,7	106,1	164,4	118,9	100,0	17,7	23,1	34,5	24,7

Приводимая таблица характеризует нам ход и значение отдельных ординат кривой осадков для трех областей: 1) недостаточного естественного увлажнения, 2) неустойчивого естественного увлажнения и 3) нормального и избыточного естественного увлажнения.

Эта таблица показывает нам, что распределение осадков по временам года для областей различной степени естественного увлажнения будет различно: в то время, как для области с недостаточным естественным увлажнением мы имеем наименьшее количество осадков летом, области с неустойчивым и избыточным и нормальным естественным увлажнением имеют минимум осадков зимой и весной (разнятся лишь на 0,8%). Сравнительные данные о распределении осадков по временам года приводятся в нижеследующей таблице:

ТАБЛИЦА 3.

Области	Времена года			
	Зима	Весна	Лето	Осень
	В процентах			
Недостаточного увлажнения	32,2	37,0	3,8	20,9
Неустойчивого увлажнения	21,8	23,4	29,7	24,9
Нормального и избыточного увлажнения	17,7	23,1	34,5	24,7

Таким образом весной и летом — в период наибольшей потребности во влаге для растения и наибольшего ее расхода на испарение, намеченные нами выше области получают от годовой суммы осадков соответственно:

Область недостаточного увлажнения — 46,8%, или 102,6 мм.

Область неустойчивого увлажнения — 53,1%, или 200,5 мм.

Область избыточного и нормального увлажнения — 57,6%, или 270,5 мм,

т.-е. на 1 га выпадает:

I область	1026 м ³
II „	2005 м ³
III „	2705 м ³

ТАБЛИЦА 4

среднего распределения (за период 1900—1908 и.) осадков по отдельным периодам года.

Пункты наблюдений	Осадки в мм					Осадки в %/о				
	Год	Тверд.	Безморозн.	Период накопл.	Период расход.	Год	Тверд.	Безморозн.	Период накопл.	Период расход.
I. Область недостаточного естественного увлажнения.										
1. Гурьев . . .	144,4	—	—	71,9	72,5	100,0	—	—	49,8	50,2
2. Ак.-Мечеть (б. Перовск). . .	99,8	—	—	54,3	46,5	10,00	—	—	54,4	45,6
3. Ташкент . . .	377,8	89,4	125,7	259,9	119,9	100,0	23,7	33,3	68,8	31,2
4. Самарканд . .	326,3	60,3	153,4	209,1	117,2	100,0	18,5	47,0	64,1	35,9
5. Байрам-Али .	118,1	—	37,8	85,1	33,0	100,0	—	32,0	72,1	27,9
6. Полторацк (б. Асхабад). . .	221,4	29,2	102,6	137,9	83,5	100,0	13,2	46,3	62,3	37,7
7. Мирза-Чуль (б. Гол. степь)	313,6	—	128,9	229,9	83,7	100,0	—	41,1	73,3	26,7
8. Красноводск .	138,2	—	—	91,0	47,2	100,0	—	—	65,8	34,2
9. Скадовск . .	258,4	—	—	141,5	116,9	100,0	—	—	54,8	45,2
	1 998,0	178,9	548,4	1 280,6	720,4	900,0	55,4	199,7	565,4	334,6
Среднее . .	222,0	59,6	109,7	142,3	80,1	100,0	18,4	39,9	62,8	37,2
II. Область неустойчивого естественного увлажнения.										
1. Одесса . . .	340,2	—	—	150,6	189,6	100,0	—	—	44,3	55,7
2. Уральск . . .	315,4	120,2	137,9	160,8	154,6	100,0	38,1	43,7	51,0	49,0
3. Астрахань . .	150,7	39,0	88,3	68,6	82,1	100,0	25,8	58,6	45,5	54,5
4. Кизляр . . .	341,7	—	—	131,2	210,1	100,0	—	—	38,4	61,6

Пункты наблюде- ний	О с а д к и в м м					О с а д к и в ‰				
	Год	Тверд.	Безмо- розн.	Период накопл.	Период расход.	Год	Тверд.	Безмо- розн.	Период накопл.	Период расход.
5. Екатериносл.	466,4	—	—	213,8	252,6	100,0	—	—	45,8	54,2
6. Тотаикой . .	434,0	68,7	177,9	170,2	263,8	100,0	15,8	41,0	39,2	60,8
7. Самара . . .	272,2	—	—	90,6	181,6	100,0	—	—	33,3	66,7
8. Камышин . .	240,9	—	—	115,3	125,6	100,0	—	—	47,8	52,2
9. Саратов . . .	365,1	104,4	162,8	180,1	185,0	100,0	28,6	44,6	49,3	50,7
10. Оренбург . .	352,8	155,1	160,2	180,9	171,9	100,0	43,9	45,4	51,3	48,7
11. Шуша	722,7	101,4	376,1	220,6	502,1	100,0	14,1	52,1	30,5	69,5
	4 002,1	488,7	1 103,2	1 682,7	2 319,4	1 100,0	166,3	285,4	476,4	624,1
Среднее . .	363,8	81,4	183,9	152,9	210,8	100,0	27,7	47,6	43,3	56,7

III. Область избыточного и нормального естественного увлажнения.

1. Персиановка.	360,9	—	—	150,6	189,6	100,0	—	—	44,3	55,7
2. Усть - Медве- дица . . .	297,9	—	—	115,1	182,8	100,0	—	—	38,6	61,4
3. Москва . . .	563,5	—	—	193,0	369,6	100,0	—	—	34,2	65,8
4. Владимир . .	561,1	—	442,1	209,1	352,0	100,0	—	78,0	37,3	62,7
5. Ставрополь .	597,8	154,2	379,1	238,1	359,7	100,0	25,8	63,4	39,8	60,2
6. Луганск . . .	451,1	69,2	216,1	189,9	261,2	100,0	15,3	47,9	42,1	57,9
	2 822,3	223,4	1 037,3	1 095,8	1 714,9	600,0	41,1	190,1	236,3	363,7
Среднее . .	472,1	111,7	345,8	182,6	285,8	100,0	20,5	63,4	39,4	60,6

Приведенная таблица дает нам детальную характеристику режима осадков для трех областей и включает в себе данные: о количестве осадков в абсолютных величинах и в ‰ по отношению к годовой сумме для безморозного периода, периода накопления влаги в почве (когда расходование ее на потребность растения сводится почти к нулю), периода расходования влаги из почвы, а также количество осадков, выпадающих в твердом виде.

Сравнительная характеристика осадков для трех нами установленных областей видна из следующей таблицы:

ТАБЛИЦА 5.

Области	Год		Безморозный период		1/X—1/IV период накопления		1/IV—1/X период расход		Твердые осадки	
	мм	‰	мм	‰	мм	‰	мм	‰	мм	‰
I	222,0	100,0	109,7	39,9	142,3	62,8	80,1	37,2	59,6	18,4
II	363,8	100,0	183,9	47,6	152,9	43,3	210,8	56,7	81,4	27,7
III	472,1	100,0	345,8	63,4	182,6	39,4	285,8	60,6	111,7	20,5

Только что указанные цифры приводят нас к следующим выводам:

1. Количество осадков, выпадающих за безморозный период, наименьшее для области *недостаточного естественного увлажнения*, наибольшее для области *нормального и избыточного естественного увлажнения* и среднее для области *неустойчивого естественного увлажнения*.

2. Осадки, выпадающие в период накопления влаги в почве — с 1/X по 1/IV — в период наименьшего их расходования на потребности растений и на испарение с поверхности почвы, тратятся, главным образом, на пополнение ближайших к дневной поверхности горизонтов грунтовых вод и на сток с поверхности почвы, уходя, таким образом, из пределов слоя почвы, где развивается корневая система растений. Вследствие этого осадки, выпавшие в этот период, меньше всего могут быть использованы.

Таким образом, чем больше осадков выпадает в этот период, тем засушливее данная территория, что и доказывается столбцами 6 и 7 вышеприведенной таблицы.

3. Наоборот — чем более осадков выпадает в период расходования влаги из почвы — 1/IV—1/X, — тем лучше снабжена почва влагой, тем благоприятнее условия для произрастания растений без мелиораций. Вышеприведенная таблица указывает, что для области *нормального и избыточного увлажнения* на 1 га почвы осадков в период расходования выпадает до 2 858 м³, а для области с *недостаточным естественным увлажнением*

осадков выпадает в этот период всего лишь 801 м³ на 1 га. По соотношению между количеством осадков, выпадающих в периоды накопления и расходования, можно судить о степени естественного увлажнения почвы. Называя:

N — количество осадков, выпадающих в период накопления,
в ‰/‰,

R — количество осадков, выпадающих в период расходования,
в ‰/‰,

мы для трех областей в среднем за рассматриваемый период имеем:

I область	$\frac{N}{R} = \infty 1,69$
II „	$\frac{N}{R} = \infty 0,76$
III „	$\frac{N}{R} = \infty 0,65$

т.-е., при значении $\frac{N}{R} \geq 1$, та или иная территория может быть нами причислена к области с недостаточным естественным увлажнением.

К условиям, создающим необходимость в оросительных мелиорациях, нужно отнести не только то или иное значение годовой суммы осадков и ее распределение по тем или иным периодам, а также нужно отнести те или иные значения интенсивности осадков и их повторяемости.

Под *интенсивностью осадков* мы понимаем *среднее количество осадков, выпадающих в дождливый день*, а под их *повторяемостью* — *число дождливых дней в том или ином периоде*. Эти два фактора позволяют нам судить о степени увлажнения почв: при одной и той же годовой сумме осадков степень влажности почвы тем больше, чем меньше интенсивность и чем больше повторяемость осадков.

Характеристика трех областей различного естественного увлажнения с точки зрения величины интенсивности и повторяемости приводится в следующей таблице:

ТАБЛИЦА 6.

Область	Год.		Зима.		Весна.		Лето.		Осень.	
	Повт. дней	Интен. мм	Повт. дней	Интен. мм	Повт. дней	Интен. мм	Повт. дней	Интен. мм	Повт. дней	Интен. мм
I	59,2	3,8	21,0	3,3	20,1	4,0	6,2	3,2	11,8	4,3
II	112,9	3,3	35,1	2,2	26,3	3,1	22,6	4,6	27,9	3,2
III	138,2	3,4	39,4	2,1	31,6	3,4	31,2	5,3	32,1	3,7

Следует оговориться, что девятилетних данных, приведенных в климатических таблицах 2 и 4 для установления характеристики осадков трех областей различного естественного увлажнения и их границ, недостаточно, поэтому представляемый материал носит характер лишь ориентировочный, при чем для указанных 26 пунктов наблюдений обработка произведена для получения лишь относительных средних величин.

II. Относительная влажность воздуха и температура. В формуле (2) на стр. 3 левая часть ее составляет актив баланса почвенной влажности. Величина P — ее изменения во времени и по отдельным периодам нами разобраны только что. Величины же w_0 , w_1 и E определяются, с одной стороны, видом почв и растений, а с другой стороны — величиной испарения как с листовой поверхности, так и с поверхности почвы и открытой водной поверхности. Систематических данных, определяющих собой в каждый данный момент испарение с листовой поверхности, с поверхности почв и с водной поверхности, не имеется.

Есть более или менее подробные данные о величине испарения с открытой водной поверхности. Но одной этой величины недостаточно. Поэтому для характеристики не абсолютных значений израсходованной из почвы влаги, а лишь интенсивности этого расходования, и принимая, что интенсивность расходования прямо пропорциональна температуре и обратно пропорциональна относительной влажности воздуха, рассмотрим значения этих факторов (температура и относительная влажность воздуха) для трех указанных выше областей и изменение их во времени.

Анализ цифр, относящихся к пунктам наблюдений, указанным в табл. 2, приводит нас к следующей характеристике относительной влажности воздуха для трех областей различного естественного увлажнения:

Т А Б Л И Ц А 7.

Область	Год	Времена года				Период			Предел. год. значен.	
		Зима	Весна	Лето	Осень	Нак.	Расх.	Безм.	Наибольш.	Наименьш.
		В п р о ц е н т а х								
I	54,3	69,3	53,2	37,8	51,8	63,3	42,7	45,4	73,6	33,3
II	61,5	76,7	58,4	47,4	62,9	66,6	50,4	51,5	80,8	42,0
III	62,9	80,6	58,2	50,9	63,7	71,5	51,1	52,0	81,7	43,4

В общем для всех периодов *относительная влажность воздуха наименьшая* — для области недостаточного естественного увлажнения, *наибольшая* — для области нормального и избыточного естественного увлажнения и *средняя* — для области неустойчивого естественного увлажнения.

Характеристика значений температуры для трех намеченных выше областей и для различных периодов будет такова:

ТАБЛИЦА 8.

О б л а с т ь	Средн. годов. t°	Средняя температура для				Средн. темпер. период.		Σ температ. безморозн. периода
		зимы	весны	лета	осени	Накопл.	Расх.	
		В г р а д у с а х						
I	12,7	— 0,3	12,9	26,0	12,5	3,7	21,8	4530,2
II	7,7	— 5,6	7,4	21,8	7,6	— 1,9	17,4	3191,4
III	6,8	— 5,9	6,6	20,0	6,3	— 2,6	16,0	2740,2

Таблица 8 не требует пояснений.

Необходимо лишь остановиться на величине — Σ температур за вегетационный период. Для различных видов растений установлено количество тепла, выраженное в градусах, потребное для наилучшего развития того или иного растения за период его вегетации.

Зная потребности в тепле у данного растения и сумму температур за безморозный период в данном районе, мы можем решить задачу о возможности акклиматизации того или иного растения в условиях определенного климата.

Б. Почвы — их физические свойства и состав механический и химический.

Если намеченные нами области той или иной степени естественного увлажнения, требующие того или иного воздействия над почвами в целях получения наивысшего урожая, с точки зрения климата могут иметь свои особенности, то в отношении почв эти области так резко не различаются: суглинки свойственны и области недостаточного естественного увлажнения и области нормального естественного увлажнения; супеси находятся и в первой и в остальных областях.

С другой стороны, нельзя наметить границ распространения того или иного типа почв соответственно границам трех указанных выше областей. Влажность (та или иная ее степень) почв не есть свойство какой-либо определенной из них — с 60% влажности (от полной влагоемкости) могут быть почвы различных типов и в различных областях. Но из физических свойств почв — наиболее зависящее от климата данной территории есть влажность почвы, поэтому для установления необходимости применения орошения приходится прежде всего устанавливать размеры и ход почвенной влажности, — определять тот активный запас влаги в почве, который может быть отдан почвой на потребности растения. Если для каждой области естественного

увлажнения не всегда можно присвоить свой свойственный только этой области тип почв, то в общем можно сказать, что для каждой области есть своя определенная влажность всякого рода почв, встречающихся в данной области, точнее сказать — для каждой области каждый тип почв будет иметь свою степень естественного увлажнения в зависимости от климатических особенностей области. Конечно процессы почвообразования будут различны для трех областей различного естественного увлажнения, поэтому можно и для каждой области выделить свой, свойственный только ей, тип почв (лессы — для I области, торфы, болотные почвы — для II и III областей), но в общем можно сказать, что все типы почв могут находиться в любой из областей естественного увлажнения.

В будущем мы выясним, при каких почвах возможен тот или иной способ полива, при каких почвах можно применять тот или иной размер поливной нормы, при каких типах почв допустимы те или иные размеры поливных площадок, теперь же мы отметим одно положение, основывающееся на определении понятия „орошение“ — свойства почв влияют на размеры и нормы орошения, ибо орошение есть метод регулирования в желаемом направлении почвенной влажности, а влажность почвы есть следствие их свойств и состава.

Поэтому, дабы выяснить условия, сопровождающие орошение, нам необходимо охарактеризовать влияние свойств и состава почв на размеры почвенной влажности. То или иное количество пор в почве определяет собой размер поливной нормы в связи с необходимостью довести почвенную влажность до желаемых размеров. Количество глинистых частиц в данной почве влияет, например, на количество капиллярных пор в почве, а эти последние в свою очередь могут определять собой возможность присутствия восходящих водных токов в почве. Все частицы почв можно разделить на две основных группы:

1. *Скелет почв — частицы, диаметр которых больше 0,25 мм в диаметре.*
2. *Мелкоземистые — частицы, диаметр которых меньше 0,25 мм в диаметре.*

Кроме этого основного деления имеются еще более детальные группировки частиц в зависимости от размера их — крупный, средний и мелкий песок, глина, пластическая глина, илстые частицы. В зависимости от содержания того или иного типа частиц, изменяется и характер почв. Различной комбинации частиц придают различные наименования — песчаные, супесчаные, суглинистые, глинистые, иловатые почвы; всем этим названиям соответствует своя комбинация частиц различных размеров.

Механический состав определяет собой и различные свойства почв. Для понимания дальнейшего изложения приведем некоторые понятия:

1. *Скважность почв — есть отношение объема пор некоторого слоя почвы к объему этого слоя, выражаемого обычно в %/%. Ввиду того,*

что в почве имеются два типа пор — крупные и мелкие (последние называются капиллярами) — существует два понятия:

а) полная скважность — процентное отношение объема всех пор к объему данного слоя почвы,

б) капиллярная скважность — процентное отношение объема капиллярных пор к объему данного слоя почвы.

2. Влагоемкость почв — есть способность почв удерживать в своих порах те или иные количества воды, просачивающейся через почву. Это свойство почв выражается в ‰ от объема почвы. В зависимости от того, какие поры могут быть заполнены водой, различают две влагоемкости:

а) полная влагоемкость — определение дается на стр. 20.

б) капиллярная (абсолютная) влагоемкость — определение дается на стр. 20.

Наконец, количество воды, содержащееся в определенном объеме почвы и выраженное в ‰ от этого объема, создает ту или иную влажность почвы. Если заполнены капиллярные поры почвы, то объем воды в них, выраженный в ‰ от объема почвы, может быть назван капиллярной влажностью данной почвы.

Следовательно:

а) скважность есть понятие геометрическое и обозначает объем пор;

б) влагоемкость есть понятие физическое, характеризующее определенное явление в почве;

в) влажность определяет содержание влаги в почве. Нижеприводимая таблица, позаимствованная нами из работы проф. А. Н. Костякова („Основные элементы расчета оросительных систем“, стр. 24), и несколько сокращенная, показывает нам связь между механическим составом почв и их физическими свойствами.

ТАБЛИЦА 9.

Наименование почвы	Содержан. пластич. глины в ‰	Скважн. почвы в ‰	Гигроско- пичность почвы в ‰	Капиллярная скважность почвы в ‰	Капиллярная влажность почвы в ‰
Песчаная	2—10	35—45	1—3	18	12
Супесчаная	10—15	50	3—5	22	14
Суглинистая . . .	15—25	53	5	25	16—17
Глинистая	25—35	54	5—7	27	18
Тяж. глинистая . .	35—45	56	7—10	30	21

Таким образом механический состав влияет на величину пор в почве (скважность), на количество гигроскопической воды, на величину капилляров в почве.

Частицы почвы могут быть по форме своей разделены на две группы: 1) кристаллические — песчанистые и 2) аморфные — глинистые. Оба типа частиц в почвах связаны большим или меньшим количеством растворенных в почвенной влаге солей.

На степень просачивания воды в почву влияет механический состав — количество тех или иных частиц в почве и их размер.

Опыты Зельгейма¹⁾ приводят к следующим выводам в отношении зависимости проницаемости от различных свойств почв и условий, сопровождающих это явление: количество воды, проходящей через слой песка, состоящего из зерен одинаковой крупности,

1) пропорционально давлению, под которым просачивается вода;

2) обратно пропорционально площади поперечного сечения того слоя песка, сквозь который проходит вода;

3) пропорционально квадрату радиусов зерен песка;

4) с повышением t° скорость прохождения воды увеличивается.

Проф. Вольни²⁾ испытал просачивание через различные смеси песка и глины, взяв для этого кварцевый песок с диаметром 0,25—0,50 мм и глину в порошке с диаметром частиц около 0,171 мм. Результаты его опытов представлены в следующей таблице.

ТАБЛИЦА 10.

С м е с ь		Напор над смесью см	Приток воды в 10 часов	
Песка % объема	Глины % объема		При толщине слоя смеси в 20 см	При толщине слоя смеси в 70 см
100	—	50	133,073	366,561
80	20	50	9,738	12,909
60	40	50	0,732	2,850
50	50	50	0,432	0,706
40	60	50	0,219	0,139
20	80	50	0,069	0,101
—	100	50	0,165	0,165

1) С. Раунер. Указ. работа, стр. 85.

2) С. Раунер. Указ. работа, стр. 86—87.

Содержание влаги в испытуемых почвах или смесях перед опытом видоизменяют результаты и понижают просачивание.

Таким образом можно вывести из сказанного такое заключение, что просачивание уменьшается при увеличении количества глинистых частиц, а увлажнение почв ведет к понижению степени просачивания нормальной для данного типа почв.

При проникновении определенных количеств воды в почвы, из этих количеств часть задерживается почвой (в большинстве ее аморфными глинистыми частицами) и создает определенную влажность почвы, часть же проникает в более глубокие слои и идет на образование подземных вод, различно расположенных по отношению к поверхности почвы. Способность почвы удерживать в своих порах некоторые количества воды из тех, которые проникают в почву с дневной поверхности, называется *влажностью*. Величина влагоемкости измеряется двумя предельными значениями:

1) *полной влагоемкостью* — тем количеством воды, которое необходимо для полного насыщения всех мелких (капиллярных) и крупных пор определенного объема почвы, и

2) *абсолютной (капиллярной) влагоемкостью* — тем количеством воды, которое необходимо для насыщения только мелких пор — капилляров.

Полная влагоемкость зависит от механического состава почв. Опыты Мейстера¹⁾ привели к следующим результатам:

ТАБЛИЦА 11.

Наименование почвы	Полная влагоемкость
	в ‰ от объема
Песчаная (82‰ песка)	45,4
Глинистая	50,0
Известковая	54,9
Суглинистая	60,1
Торфяная	63,7
Песчаная (64‰ песка)	65,2
Черноземная	70,3

¹⁾ С. Раунер. Указ. работа, стр. 89.

Что касается капиллярной влагоемкости, то таковая, как свидетельствует об этом таблица 9, пропорциональна содержанию в почве мелкоземистых частиц: чем мелкоземистых частиц больше, тем больше капиллярная влагоемкость, и обратно.

К физическим свойствам почвы нужно отнести свойство, характеризующее наиболее интересующим нас процессом — процессом *капиллярного поднятия* влаги из почвенных толщ к корневой системе; таковой опять-таки находится в тесной связи с механическим составом почв. Были установлены в результате ряда опытов следующие положения:

1. Капиллярное поднятие является наибольшим из крупнозернистых почв в мелкозернистые (и очень слабо при обратном положении почв).

2. Скорость капиллярного поднятия тем больше, чем больше частицы почвы, и обратно.

3. Высота подъема воды тем больше, чем меньше частицы почвы, и обратно.

4. Капиллярные явления наблюдаются лишь в почвах с диаметром частиц < 2 мм.

5. Наибольшего значения капиллярное поднятие по опытам Вольни достигает при почвах, имеющих диаметр от 0,05 до 0,10 мм.

Высота и скорость капиллярного поднятия воды на основании опытов Мейера¹⁾ представлена в нижеследующей таблице, где в вертикальном направлении указывается высота поднятия, а в горизонтальном — разность цифр, деленная на разность продолжительности явлений, дает нам скорость поднятия.

ТАБЛИЦА 12.

Наименование почвы	Высота подъема мм				Скорость подъема мм — 1 час		
	После 1/2 ч.	После 5 1/2 ч.	После 6 1/2 ч.	После 21 1/2 ч.	I ннт.	II ннт.	III ннт.
Глинистая	340	1 100	1 150	2 000	152	50	56,7
Черноземная	400	1 100	1 140	1 770	140	40	42
Песок кварцевый	440	920	970	1 170	96	50	13,3
Песчаная	450	620	660	900	34	40	16

В первом интервале, когда влажность испытуемых образцов почв не была велика, ясна зависимость между содержанием мелкоземистых частиц

1) С. Раунер. Указ. работа, стр. 94.

и скоростью и высотой подъема: чем мельче частицы, тем больший подъем, тем большая скорость подъема.

Помимо количеств воды, просочившейся в почву с дневной поверхности, влажность почвы пополняется еще за счет способности почв конденсировать (сгущать) водяные пары воздуха окружающего частицы почвы. Этот тип влаги весьма стоек, ибо, как показали опыты, способность почвы конденсировать влагу из почвенного воздуха определяется не столько физическими свойствами, механическим составом почв, но в большой степени еще и химическими свойствами почвы. Практически это свойство — *гигроскопичность*, — как принято называть, сказывается в тех случаях, когда воздух, окружающий почву, слишком быстро понижает свою влажность — наступает засуха; в этом случае гигроскопичность замедляет засуху в почве. Опыты Шюблера¹⁾, исследовавшего влияние характера почвы на гигроскопичность, привели к следующим данным:

ТАБЛИЦА 13.

Наименование почвы	В течение 12 ч.	В течение 24 ч.	В течение 48 ч.	В течение 72 ч.
	0/0/0 в е с о в ы х			
Песок кварцевый	0	0	0	0
Песок известковый	0,2	0,3	0,3	0,3
Глина тощая	2,5	3,0	3,4	3,5
Глина чистая, серая	3,7	4,2	4,8	4,9
Известь мягкая	2,6	3,1	3,5	3,5
Чернозем	8,0	9,7	11,0	12,0

Эта таблица, в связи с таблицей 9, позволяет нам сделать заключение, что гигроскопичность почвы обратно пропорциональна крупности частиц почвы.

Помимо этого установлено было, что присутствие в почвах гумуса, окисей алюминия и железа повышает гигроскопичность почвы.

В последнее время американские ученые Л. И. Бриггс (L. I. Briggs) и Х. Л. Шанц (H. L. Schantz)²⁾ пришли к выводу, что гигроскопичность почвы может служить некоторым мерилем для определения того минимального количества воды, при котором растение начинает увядать. Ими введен

1) С. Раунер. Указ. работа, стр. 97.

2) А. Н. Костяков. „Основные элементы расчета оросит. сист.“, стр. 22—24.

в употребление „коэффициент увядания“ для различных почв, равный весовому $\%$ отношению влажности к сухой почве, соответствующему увяданию растения. Этот коэффициент увядания равен для каждого типа почв ее гигроскопичности (гигроскопичной влажности), умноженной на постоянное число 1,5.

Данные опыта привели к следующим результатам.

ТАБЛИЦА 14.

Наименование почв	Гигроскопичность в $\%$	Коэффициент увядания в $\%$
Грубые пески	—	1,0
Песчаная	1—3	1,5—4,5
Супесчаная	3—5	4,5—7,5
Суглинистая	5	7,5
Глинистая	5—7	7,5—10,5
Тяж. глинистая	7—10	10,5—15,0

Помимо указанных свойств почв, при орошении приходится устанавливать также и ту предельную наибольшую для данного типа почв влажность, которая допускается при возможности пополнения расхода влаги из почвы и при наличии в почве воздуха, достаточного для нормального роста растения. Мы уже знаем, что воды в почву можно ввести не более того, что составляет объем пор в почве. Но практически этого предела достигать нельзя. Если вода заполнит поры до пределов их полного насыщения, то наступит та обстановка, в которой находятся растения на болоте, — весь почвенный воздух будет вытеснен, и растение начнет задыхаться. Следовательно, наличие в порах почвы, кроме определенной влажности, и определенных количеств воздуха есть неперемнное условие наилучшего развития растения. Таким образом кроме предела наименьшего содержания влаги в почве, определяемого по Бриггеу и Шанцу полуторной гигроскопичностью данной почвы, должен быть еще предел наибольшего содержания влажности с точки зрения достаточного содержания воздуха в почве, необходимого для жизни растения. В ряде опытов установлено ¹⁾, что наилучшее с точки зрения развития растения количество воды в почве не должно превышать 40—60% полной влагоемкости, или ... в почве должно

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. работ. Стр. 24.

быть создано такое состояние влажности, при котором заняты только капиллярные поры“...

Если водные свойства почв влияют на жизнь растений, удовлетворяя потребность его в воде для образования питательных растворов, то химический состав почв не безразличен для растений. При наличии определенных солей в почве, таковая может быть плодородна, может исключать разведение на ней каких-либо растений, наконец, может определять собой степень допустимой влажности почвы. Между величиной только что нами указанной — наименьшим допустимым количеством воды — и химическим свойством почвы существует та зависимость, что для каждого растения имеется своя предельная концентрация солей в почвенных растворах. Иные растения допускают не $> 0,5\%$ солей в почвенных растворах, другие дают хороший урожай и при 3% концентрации почвенных растворов. Вводя в почву те или иные количества воды, мы сможем регулировать концентрацию почвенных растворов, уменьшая или увеличивая ее до желаемых размеров. Следовательно, величину наименьшего заполнения пор почвы необходимо устанавливать для каждого типа почв не только с точки зрения наименьшей потребности растения в воде, но и с точки зрения той концентрации, которая допустима для данного растения и которая явится вследствие наличия определенных запасов солей в данной почве.

Проф. Костяков дает следующую зависимость между концентрацией (весовой) почвенных растворов, содержанием вредных солей и почвенной влажностью ¹⁾:

$$\lambda = \frac{s(100 - r)}{r} \% \%, \quad (3)$$

где λ — концентрация в $\% \%$

s — количество растворимых солей в почве в $\% \%$;

r — почвенная влажность в $\% \%$ (весовая).

Зная содержание солей (вредных) в данной почве и имея данные о допустимой для предполагаемого к разведению растения концентрации почвенного раствора, мы по приведенной формуле можем определить ту почвенную влажность, ниже которой нельзя спускаться.

Пример.

Пусть $s = 0,7\%$,

$$\lambda = 3,418\%.$$

необходимо создать почвенную влажность не $< 17\%$.

Определив величину r , мы можем подойти и к количеству воды, которое должно находиться при данном $\% \%$ почвенной влажности в том или ином слое почвы с тем, чтобы концентрация в нем не превышала заданной величины.

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 21.

Но каждая почва кроме вредных солей обладает еще солями, создающими плодородие и иными веществами, придающими тот или иной характер, ту или иную структуру почве. Поэтому необходимо знать и химический состав почв, особенно] ту его часть, которая легко растворяется в воде — воднорастворимые соли. Для характеристики приведу из работы С. Раунера ¹⁾ химический анализ ряда почв:

Т А Б Л И Ц А 15.

Наименование вещества	Содержание веществ в почвах.				
	Песчаная	Глинистая	Мергелист. глины	Известков	Чернозем
Органич. вешест.	0,47	4,63	8,54	12,06	21,40
Азота	—	?	0,26	0,25	0,78
Минерал. вещества	99,53	95,37	91,46	87,94	78,60
В том числе:					
K ₂ O	0,97	1,06	2,60	0,85	1,96
N ₂ O	0,47	0,37	1,17	0,22	1,16
CaO	0,19	2,86	5,97	29,96	1,94
Mg	0,05	0,88	2,22	0,48	1,71
Fe ₂ O ₃	0,20	5,20	4,60	1,16	4,11
Al ₂ O ₃	3,10	7,04	15,12	6,82	15,20
SiO ₂	94,72	76,14	54,53	25,44	52,23
SO ₃	Следы	0,01	0,17	5,10	0,01
P ₂ O ₅	0,05	0,18	0,20	0,22	0,20
CO ₂	0	1,63	4,63	23,54	0,03
Cl	?	?	0,11	—	Следы

Этой таблицей возможно пользоваться для определения количества тех или иных веществ в определенном объеме лишь при пересчете на 1 м^3 , поэтому нижеследующая таблица составлена (для условий средней влажности) для определения количества тех или иных веществ в 1 м^3 ²).

¹⁾ С. Раунер. Указ. работа, стр. 109.

2) С. Раунер. Указ. работа, стр. 109.

ТАБЛИЦА 16.

Наименование веществ	Содержится ж в почве				
	Песчан	Мергелист. глинист.	Глинист.	Известков.	Чернозем.
Органич. веществ .	7	56	85	96	128
Азота	?	?	2,6	2,0	4,7
Минеральн. веществ	1 493	1 144	915	704	472
Из них:					
Кали	14,6	12,7	26,0	6,8	11,8
Извести	2,9	34,3	59,7	239,7	11,6
Фосфорной кислоты	0,8	2,2	2,0	1,8	1,2

Создавая при орошении какой-либо почвы определенную почвенную влажность, мы переводим из указанных выше веществ некоторую часть их в раствор. И только эта их часть — воднорастворимая — и идет на питание растений. В силу этого необходимо установить количество веществ (и главным образом питательных — кали, фосфорная кислота, азот), переводимых в водные растворы. Установлено рядом опытов, что вода из почвы берет лишь незначительные количества. Промывая 1 000 *г* почвы с таким расчетом, что всякий раз раствора получалось 1 000 *см*³, Шульц ²⁾ получил следующие данные:

ТАБЛИЦА 17.

№№ раствора	В ы м ы т о в ы	
	Минер. вещ.	P ₂ O ₅
1-й	0,195	0,006
2-й	0,063	0,008
3-й	0,160	0,009
4-й	0,120	0,008
5-й	0,178	0,007
6-й	0,123	0,004

²⁾ С. Раунер. Указ. работ. Стр. 111.

Таким образом из сказанного возможно сделать выводы:

1. Вода, введенная в почву, вымывает из нее и переводит в раствор весьма незначительные количества минеральных веществ.
2. Только весьма значительные количества воды могут вымывать значительные количества минеральных веществ.
3. Если почва богата легко растворимыми в воде минеральными веществами, то, в случае вредности их для растений, возможно путем многократного и обильного орошения и быстрого отвода воды выщелочить эти почвы, удалить вредные (и незначительное количество полезных) соли и тем самым улучшить почвы.
4. Почвы с избытком вредных солей в водных растворах — солонцы, солончаки — возможно исправить орошением обильным, но никогда не надо забывать, что излишняя поливка может обесплодить почвы, поэтому при промывке солонцов необходимо особенно тщательно следить за химическим составом почв.

Помимо указанных свойств почв при орошении возможно установить связь между способом орошения и другими свойствами почв, например, поглонительной способностью, теплоемкостью, удельным весом и пр. Но связь эта не будет играть значительной роли, поэтому, установив основное положение — орошение должно влиять на водные свойства почв, мы перейдем к краткому изложению данных о свойствах оросительной воды.

§ 3. ВОДА КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ; ЕЕ СВОЙСТВА И КАЧЕСТВА; ТИПЫ И ХАРАКТЕРЫ ИСТОЧНИКОВ ОРОШЕНИЯ.

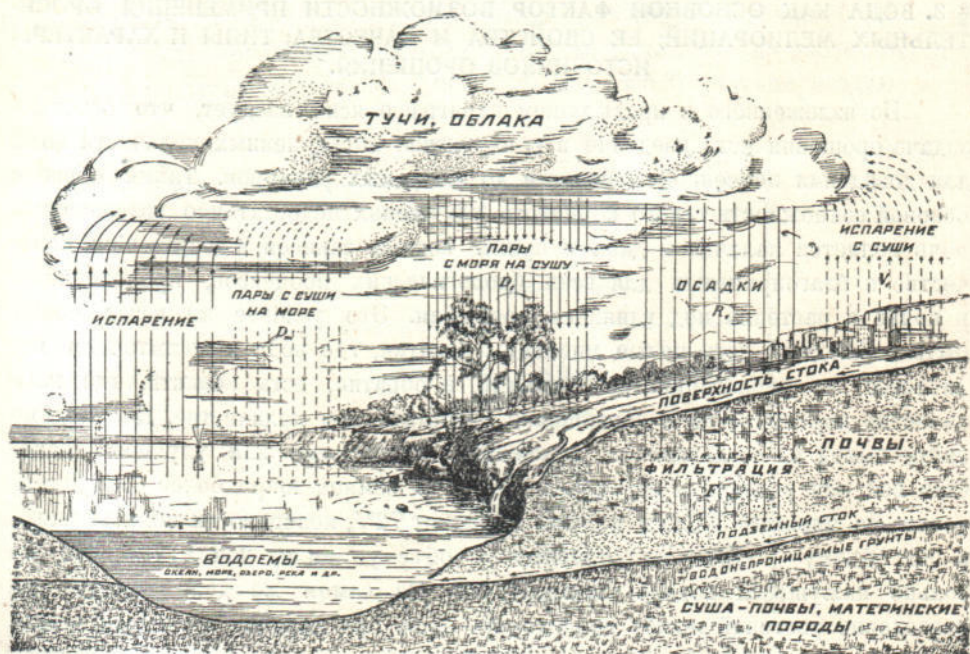
Из изложенного в предыдущем параграфе ясно следует, что основная задача орошения есть введение в почву извне определенных количеств воды для доведения почвенной влажности до желаемых размеров. Таким образом основой возможности такого коренного улучшения недостаточно увлажненных почв является наличие в данном пункте водных запасов в достаточном количестве и благоприятных для всех биологических процессов, происходящих в почве и растениях под влиянием орошения. Это условие не везде может быть соблюдено: есть целые миллионы десятин, где вода в достаточном количестве, но неблагоприятных свойств, и обратно, есть области, где вода качества хорошего, но в совершенно недостаточном количестве. Необходимо найти выход из создавшегося положения. необходимо или улучшить качество вод или увеличить их запасы. Воды на земном шаре более чем достаточно: по площади океаны и моря занимают 72% поверхности земного шара, а по объему — объем их относится к объему земли, как 1:780. Но это только кажущееся водное благополучие. На самом же деле районы, где разведение растений может происходить лишь при наличии орошения, всегда бедны водой; с другой стороны, там, где культура растений может вестись без орошения, там как раз воды достаточно.

Проф. А. И. Воейков формулировал таким образом взаимодействие между текучими источниками (реками, ручьями и пр.) и климатом: „Реки есть продукт климата“. Вспомнив из описания климата районов недостаточного естественного увлажнения, что климат этой области совершенно неблагоприятен для образования рек, мы придем к заключению, что в области недостаточного естественного увлажнения не только почвенная влага требует ее накопления, но и открытые водные источники ее должны быть увеличены, должна вестись работа по увеличению водных ресурсов этой области.

Для того чтобы охарактеризовать те источники, которыми необходимо пользоваться при орошении, приведем сначала классификацию всех водных источников, а затем остановимся на их характеристике.

Предварительно установим понятие „источник орошения“.

„Источником орошения“ мы будем называть такой водоем (независимо от того, искусственный или естественный), воды которого с помощью тех или иных гидротехнических сооружений изъеются из него, проводятся через транспортирующие аппараты оросительной системы и подводятся к почве, влажность которой предполагается увеличить до желаемых размеров. Для всех источников орошения питание получается из круговорота воды в природе. Циклическое строение круговорота воды в природе видно из следующей схемы:



Черт. 3. Кругооборот воды в природе.

Математическая зависимость между отдельными элементами этого круговорота может быть выражена по проф. Брикнеру следующей формулой¹⁾:

$$R_1 - V_1 + D_m - D_1 = V_1 + (D_m - D_1) = V_1 + F, \quad (4)$$

где:

R_1 — годовое количество осадков на суше;

V_1 — годовое испарение на суше;

D_1 — годовое количество паров в атмосфере, переходящих с суши на море;

D_m — годовое количество паров в атмосфере, переходящих с моря на сушу;

F — годовое количество воды, переносимой в океан.

Из кругооборота воды в природе одно из слагаемых формулы — F есть то, что питает источники орошения. В зависимости от того, собираются ли эти воды на поверхности земли или в порых пород, слагающих земную кору, можно все источники орошения разделить на две основных группы:

I. Открытые водные источники.

II. Подземные воды.

Первая группа источников орошения может быть подразделена на следующие разновидности.

1. *Открытые водные источники с текущими водами* [реки, речки, ручьи (рис. 2)].

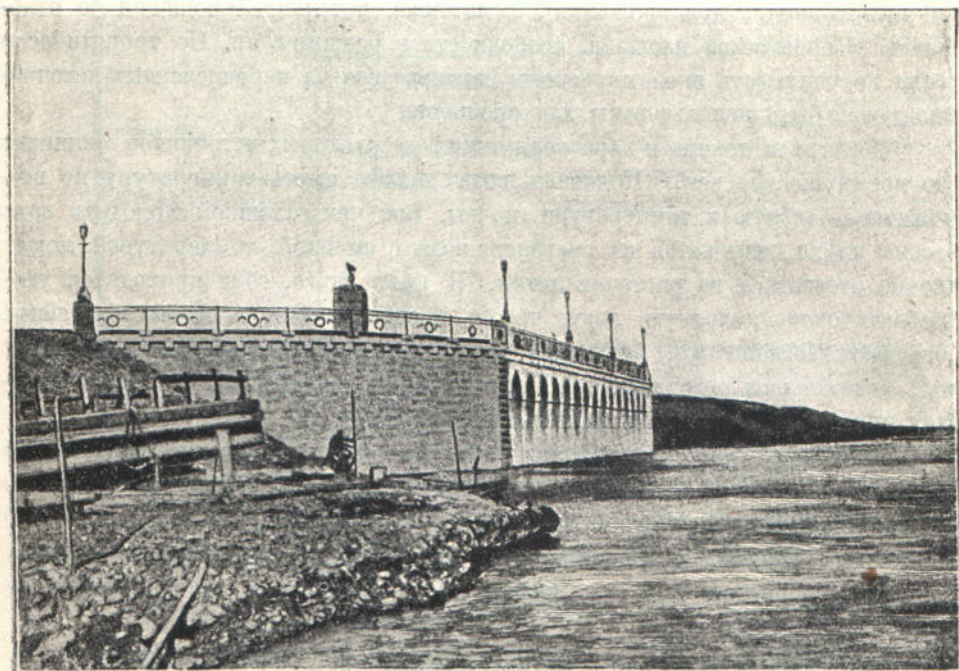


Рис. 2. Орошение из реки (головное сооружение Голодностепской оросительной системы).

¹⁾ А. Труфанов. Речная гидрология, стр. 7—8.

2. *Открытые водные источники со стоячими водами* — озера, пруды, водохранилища, естественные углубления с периодическим наполнением и пр.

Вторую группу приходится подразделять по признакам глубины залегания их под дневной поверхностью:

1. *Подземные воды верхнего горизонта* — верховодки, ненапорные воды.

2. *Подземные воды средних глубин* — напорные, суб'артезианские воды.

3. *Подземные воды глубоких горизонтов* — артезианские, самоизливающиеся.

Приводимая классификация не может претендовать на исчерпывающее значение; она важна как придержка для разделения каптажных сооружений в зависимости от характера источника орошения; она позволяет также несколько детализировать вопрос о химических свойствах вод в источниках орошения.

Для орошения употребляются воды почти из всех разновидностей источников орошения — мы встречаем в виде источников орошения реки, ручьи, речки, озера, пруды, водохранилища, естественные углубления с периодическим наполнением, подземные воды всех типов. Каждый из этих типов источников орошения требует различных гидротехнических сооружений — в одних случаях простейших, в других — более сложных. Предел возможности применения тех или иных типов источников орошения кладут, во-первых, химические и физические свойства вод (слишком соленые, слишком холодные не употребляются при орошении), положение источника орошения по отношению к орошаемой площади, особенности в режиме и пр. Но теоретически (если не учитывать экономического фактора) все из перечисленных источников могут быть использованы для орошения.

Обратимся теперь к характеристике вод некоторых источников орошения (по преимуществу рек). Поливная вода должна иметь температуру по возможности близкую к температуре почвы, при чем слишком холодная вода весьма плохо отзывается на растении; вода с высокой температурой может вредно отозваться на растении летом. В силу этого, если приходится употреблять очень холодную воду, то ее предварительно в особых бассейнах согревают. Обычно же, благодаря достаточно длинному пути, по которому вода движется от источника орошения до орошаемого поля, она в пути успевает приобрести температуру почвы.

Наилучшей температурой воды для полива является температура около 15°C . Что касается химического состава, то таковой весьма разнообразен для различных источников в орошения. Разнообразно также и количество взвешенных веществ источниках орошения (наносы), — начиная от светлых с долями процентов вод, мы имеем реки, где наносы придают заметную окраску и мутность водам.

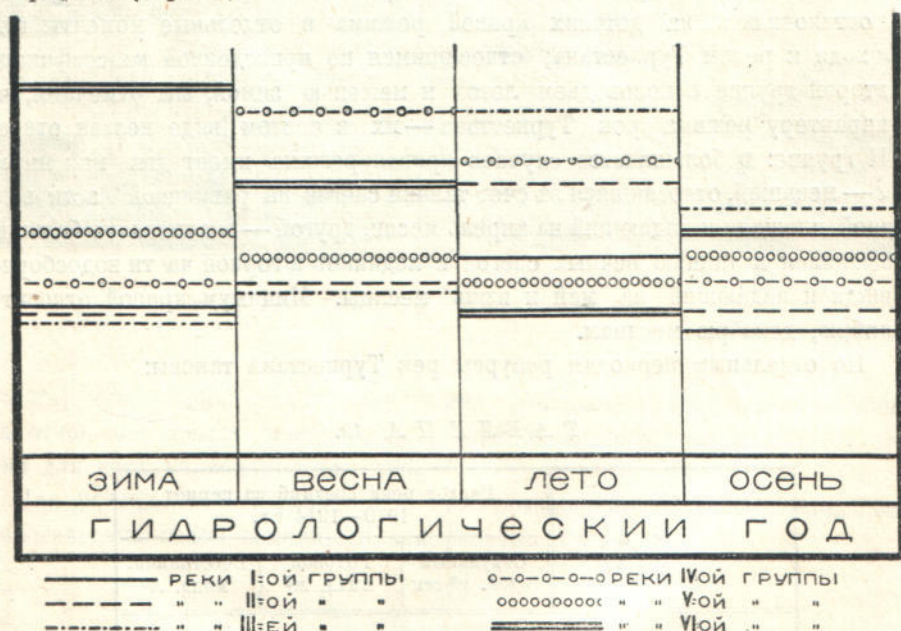
Чтоб охарактеризовать источники орошения области недостаточного естественного увлажнения, остановимся на некоторых главнейших реках Туркестана — района древнего орошения, района, по последним данным, являющегося колыбелью орошения. Для детальной характеристики при-

ведем данные (по отчетам Гидрометрической части в Туркестанском крае за 1911—12—13—14 годы) о режиме, химическом составе, взвешенных и растворенных наносах и их механическом и химическом составе некоторых рек Туркестана и сравним эти данные с характером рек других орошаемых районов.

А. Режим.

Режим реки будем характеризовать ее расходом. Являясь продуктом климата, реки зависят в значительной своей степени от количества осадков, выпадающих на водосборной площади; небольшие реки, кроме того, могут зависеть от дебета (расхода) родников и ключей, питающих реку в пределах ее долины. Наконец, реки некоторых районов (например Туркестана), имея истоки свои в зоне вечных снегов и ледников, имеют в кривых своего режима некоторые точки, подверженные влиянию вод, попадающих в реку в силу таяния ледников.

В зависимости от характера питания все реки, по А. И. Воейкову, возможно подразделить на 9 групп, и режим для 1—6 групп изображается на графике (черт. 4)



Черт. 4. Типы режимов рек различного питания.

Приведенный график лишь приблизительно характеризует тип рек; в чистом виде ни один тип реки не встречается, — климат стирает зачастую резкость режима, но ориентировку относительно двух моментов кривой (максимума — половодья и минимума — межени) по приведенному графику все же можно иметь. Следующая таблица показывает положение половодья и межени для различных групп классификации:

ТАБЛИЦА 18.

Г р у п п ы	В р е м е н а г о д а			
	Зима	Весна	Лето	Осень
I	—	полов.	—	межень
II	межень	—	полов.	—
III	межень	—	полов.	—
IV	—	полов.	—	межень
V	полов.	—	межень	—
VI	полов.	—	межень	—

Одинаковость групп I и IV, II и III, V и VI уничтожится, если бы мы остановились на деталях кривой режима в отдельные моменты года. Переходя к рекам Туркестана, относящимся по приведенной классификации ко второй группе с половодьем летом и меженью зимой, мы отмечаем, что по характеру режима рек Туркестана — их в чистом виде нельзя отнести ко II группе: в большинстве случаев кривая режима имеет два максимума: один — меньший, относящийся за счет таяния снегов на равнинной части водосборной площади и падающий на апрель месяц, другой — значительно больший, относящийся к таянию вечных снегов и ледников в горной части водосборной площади и падающий на май и июнь месяцы. Минимум кривой относится к ноябрю, декабрю месяцам.

По отдельным периодам ресурсы рек Туркестана таковы:

ТАБЛИЦА 19.

Р е к а	Расход реки средний за период 1910—1914 г.г.		
	Секундный годов. м ³ /сек	Годовой милл. м ³	Вегетацион. милл. м ³
Аму-Дарья	2 126,4	67 048,2	53 970,1
Сыр-Дарья	546,8	17 247,0	11 387,2
Чу	68,1	2 147,7	945,5
Или	414,9	13 034,2	10 880,1
Чирчик	239,3	7 546,7	5 805,5

Этой таблицей определяется благоприятность режима рек орошению: чем больше воды в вегетационный период, тем благоприятнее река для орошения. Из приведенного перечня рек наиболее неблагоприятна для орошения р. Чу, ибо вегетационное количество воды в этой реке ниже 50% всех ее водных ресурсов. Источник орошения будет тогда хорош, когда амплитуда

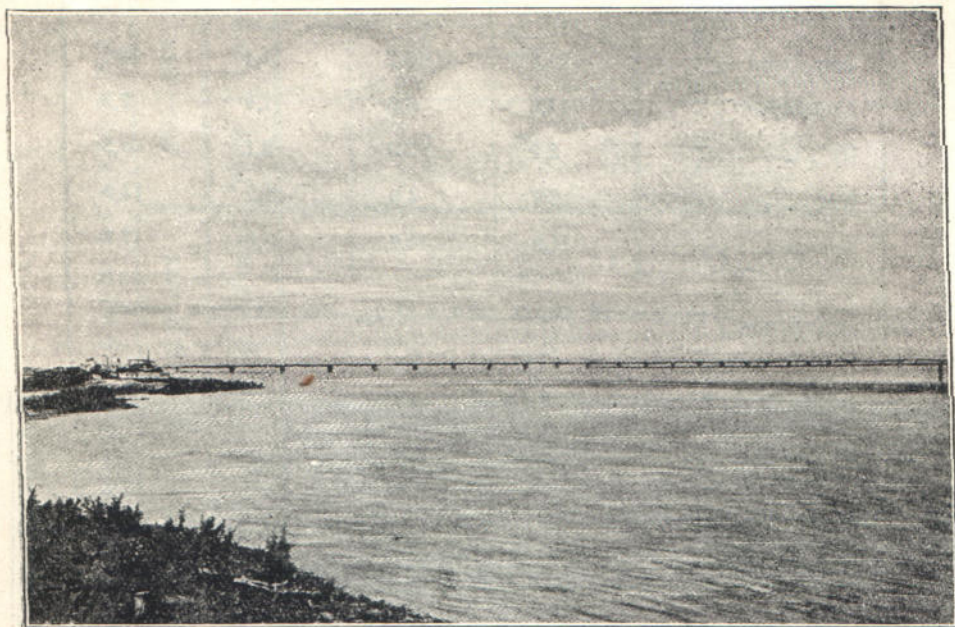


Рис. 3. Река Аму-Дарья у Чарджуйского моста.

(разность) его наибольших и наименьших расходов будет невелика, или, когда отношение между наибольшим и наименьшим его расходом будет невелико для всех периодов и для года.

Для указанных рек Туркестана это соотношение будет по отдельным гидрологическим годам изменяться как указано в табл. 20 (стр. 34).

Б. Наносы.

Пронося огромные количества воды, реки Туркестана несут в своих волнах значительные количества взвешенных в воде частиц почв и грунтов — наносов, смываемых стоком с поверхности водосбора и получающихся благодаря разрушению берегов. Эти взвешенные частицы, заключая в себе значительные количества питательных веществ, являются для орошаемых полей как бы естественным удобрением. С другой стороны, то или иное количество

ТАБЛИЦА 20.

Р е к а	О т н о ш е н и е $\frac{Q_{max}}{Q_{min}}$			
	1910—1911	1911—1912	1912—1913	1913—1914
Аму-Дарья	11,3	10,7	11,4	13,5
Сыр-Дарья	11,2	6,0	7,9	7,9
Чу	2,2	2,0	3,1	4,5
Или	6,0	4,5	5,0	14,0
Чирчик	11,9	10,8	9,1	17,7

Где Q_{max} — наибольший расход реки, а Q_{min} — ее наименьш. расход.

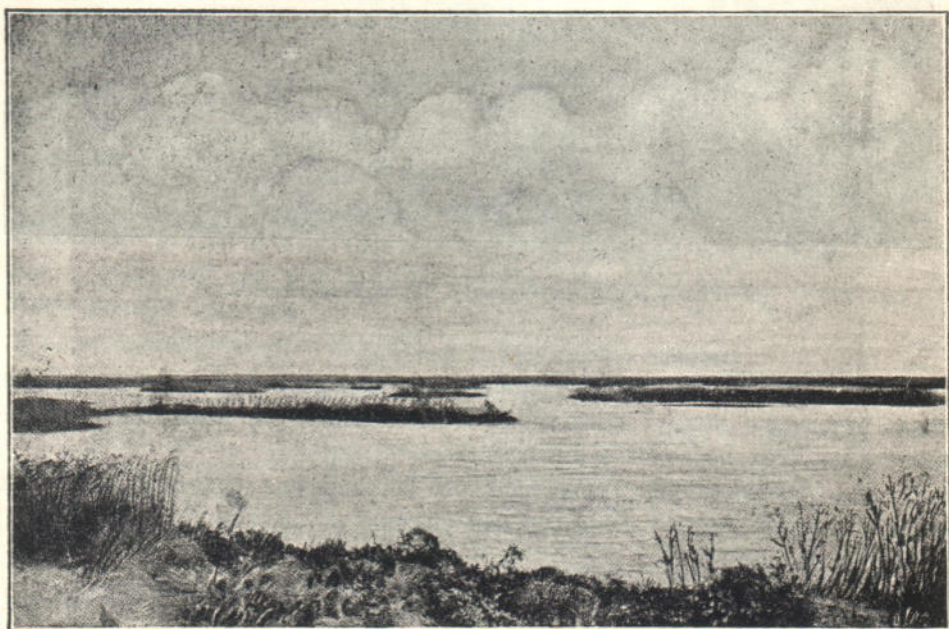


Рис. 4. Река Сыр-Дарья в низовьях.

наносов определяет степень заиления оросительных систем и сооружений. Несколько ниже мы коснемся вопроса о химическом составе наносов, а теперь охарактеризуем содержание их в водах главных рек Туркестана (см. табл. 21).

ТАБЛИЦА 21.

Р е к а.	П о с т	К о л и ч е с т в о в з в е ш е н н ы х и н а н о с о в н а т ы с ы а у.									
		1910—1911		1911—1912		1912—1913		1913—1914		С р е д н е е	
		Вегет.	Годов.	Вегет.	Годов.	Вегет.	Годов.	Вегет.	Годов.	Вегет.	Годов.
Аму-Дарья . .	Керкинский . .	4,65	4,01	5,83	4,96	—	—	5,81	5,02	5,43	4,67
Сыр-Дарья . .	Запорожский . .	1,77	1,24	2,24	1,81	2,61	2,03	2,74	2,01	2,34	1,77
Чу	Константиновск.	0,64	0,49	0,71	0,47	—	—	1,37	1,37	0,91	0,58
Или	Илийский . . .	0,81	—	1,54	1,33	—	—	1,68	1,68	1,61	1,51
Чирчик	Чимбалынский .	0,64	0,54	0,37	0,38	—	—	—	—	0,51	0,46

1. Количество наносов увеличивается в вегетационный период и уменьшается в период невегетационный.

2. Из указанных в таблице рек Туркестана наиболее богатой наносами является р. Аму-Дарья и наименее богатой — р. Чирчик.

Разделяя наносы по скорости выпадения их при взмучивании в растворе, мы получаем три группы наносов, отличающихся различным диаметром частиц. Некоторые данные о распределении частиц наносов представляются в следующей таблице:

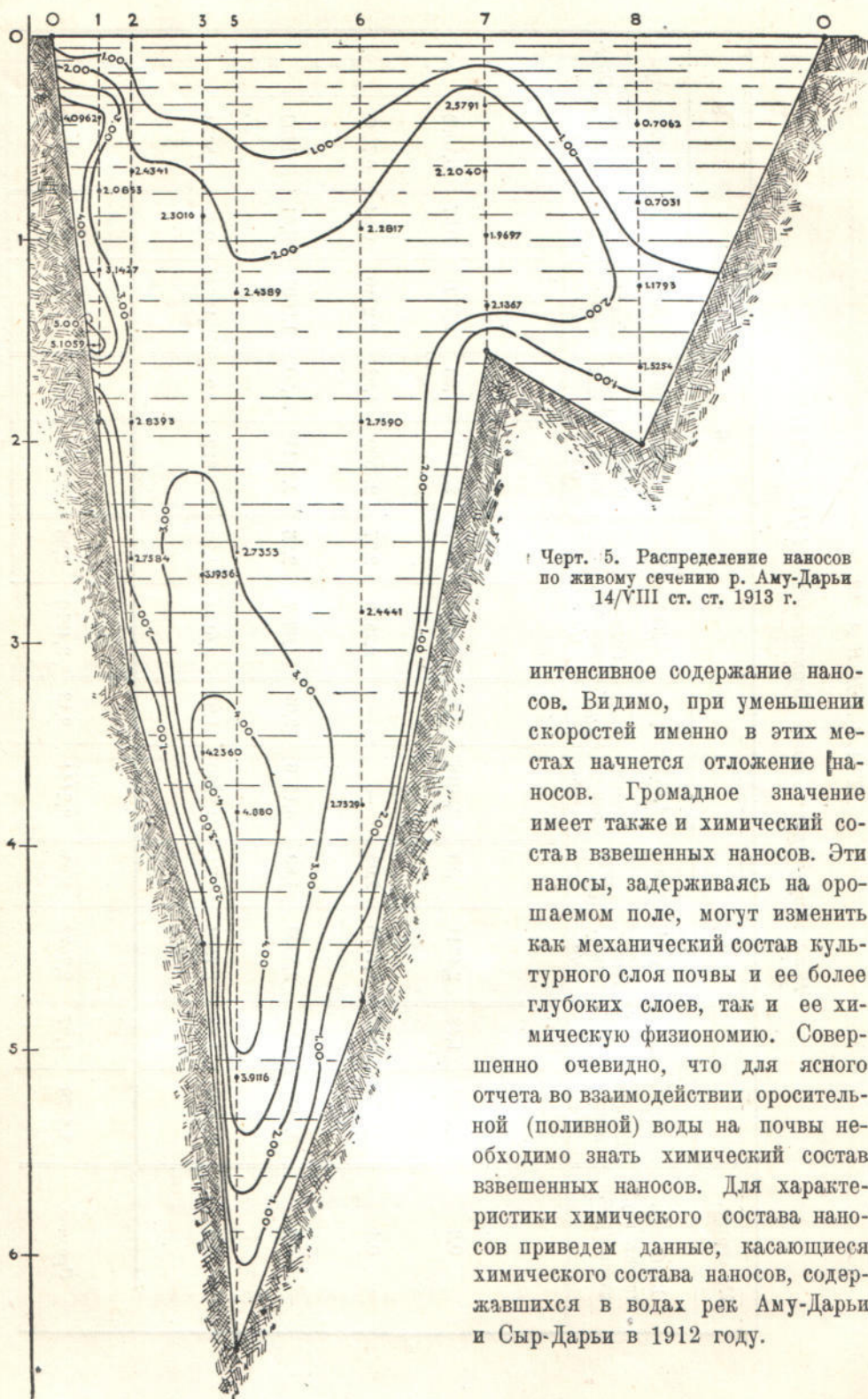
ТАБЛИЦА 22.

Р е к а.	Год наблюден.	Дата наблюден.	Гидравлический размер частиц		
			$> 2 \text{ мм/сек}$	$2 \text{ мм/сек} —$ $— 0,005 \text{ мм/сек}$	$< 0,005 \text{ мм/сек}$
			Частиц в ‰		
Аму-Дарья	1911	—	12,87	87,13	
„	1912	20/VI	33,70	54,5	11,8
				66,3	
Сыр-Дарья	1911	—	8,21	91,79	
„	1912	—	41,7	42,9	15,4
				58,3	

Мы знаем, что скорость, влекущая за собой выпадение взвешенных частиц, пропорциональна диаметру, т.е. чем крупнее наносы, тем больше должна быть скорость, движущая наносы. Поэтому — обычно при больших уклонах рек — русло их сложено не только из ила, но из довольно крупного щебня. Для орошаемого хозяйства наиболее интересны наносы мелкоземистые — илистые. Количество наносов неодинаково в различных местах реки по течению и в различных точках ее живого сечения. Характеристикой распределения наносов по живому сечению реки служит таблица 23 (см. табл. 23 на стр. 38) ¹⁾.

График, составленный на основании предыдущей таблицы, представляет из себя живое сечение левого рукава р. Аму-Дарьи у Керкинского поста 14-го августа 1913 г. (черт. 5). Кривые изображают линии одинакового содержания наносов в различных точках живого сечения. В данном случае почти по всему сечению распределение наносов одинаково. Лишь у левого берега и на 5-й и 3-й вертикалях (т.е. в самом глубоком месте) наблюдается

¹⁾ Отчет гидрометрической части в Туркестане за 1913 год.



Черт. 5. Распределение наносов по живому сечению р. Аму-Дарьи 14/VIII ст. ст. 1913 г.

интенсивное содержание наносов. Видимо, при уменьшении скоростей именно в этих местах начнется отложение наносов. Громадное значение имеет также и химический состав взвешенных наносов. Эти наносы, задерживаясь на орошаемом поле, могут изменить как механический состав культурного слоя почвы и ее более глубоких слоев, так и ее химическую физиономию. Совершенно очевидно, что для ясного отчета во взаимодействии оросительной (поливной) воды на почвы необходимо знать химический состав взвешенных наносов. Для характеристики химического состава наносов приведем данные, касающиеся химического состава наносов, содержащихся в водах рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи в 1912 году.

ТАБЛИЦА 23.

Река Аму-Дарья — пост Керкинский — 14/VIII 1913 г.

№ вертик.	1		2		3		5		6		7		8	
	1,896 метра		3,174 метра		4,452 метра		6,390 метра		4,750 метра		1,619 метра		2,002 метра	
Глуб. вер. относит. глуб. взятия проб.	Колич. нанос. $\frac{1}{2}$ л	Скор. м/сек	Колич. нанос. $\frac{1}{2}$ л	Скор. м/сек	Колич. нанос. $\frac{1}{2}$ л	Скор. м/сек	Колич. нанос. $\frac{1}{2}$ л	Скор. м/сек	Колич. нанос. $\frac{1}{2}$ л	Скор. м/сек	Колич. нанос. $\frac{1}{2}$ л	Скор. м/сек	Колич. нанос. $\frac{1}{2}$ л	Скор. м/сек
0,2	2,0962	1,48	2,4341	2,18	2,3016	2,35	2,4389	2,47	2,2817	1,93	2,5791	0,37	0,7062	
0,4	2,0853	1,42	2,7776	2,03	—	—	2,7353	2,37	2,7590	1,92	2,2040	0,34	0,7031	
0,6	3,1427	1,36	2,8393	1,89	3,1956	2,09	4,8807	2,26	2,4441	1,90	1,9697	0,31	1,1793	
0,8	5,1059	1,23	2,7584	1,71	4,2360	1,95	3,9116	1,93	2,7329	1,93	2,1367	0,37	1,5254	
Среднее	3,6078	1,37	2,7023	1,95	3,2444	2,13	3,4916	2,26	2,5544	1,92	2,2324	0,35	1,2785	—

Д Е Р Ж А В Н О Е

ТАБЛИЦА 24.

Река	Пост крупных частиц	Химический состав наносов						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
		В ‰ от плоти. остатка						
Аму-Дарья	Керкииск.							
	> 2 мм/сек	64,84	14,12	11,54	0,72	2,03	1,96	0,00
	2 мм/сек—0,005 мм/сек	58,06	18,22	6,20	3,05	1,84	1,52	0,00
	< 0,005 мм/сек	40,30	23,34	9,76	3,46	3,75	1,96	Следы
Сыр-Дарья	Запорожск.							
	> 2 мм/сек	67,10	10,91	8,76	0,56	2,33	1,64	0,00
	2 мм/сек—0,005 мм/сек	48,54	15,83	13,70	2,76	2,83	1,92	0,00
	< 0,005 мм/сек	40,9	22,59	9,41	4,17	3,40	2,17	Следы

Наконец приведем краткую таблицу, характеризующую количество наносов в различных реках земного шара ¹⁾:

ТАБЛИЦА 25.

Река	Наносы на 1000	Река	Наносы на 1000
Нил	0,52	Рейн	10,00
Миссисипи	0,70	По	3,30
Дунай	0,31	Аму-Дарья	4,67
Висла	20,00	Сыр-Дарья	1,77

В. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД.

В воде рек и других водоемов мы имеем два типа веществ:

1. Связанных с взвешенными в воде частицами.
2. Растворенных в воде.

¹⁾ Л. Сальвадор, перев. Дингельшт. Сел.-хоз. гидравлика, стр. 168.

Гидрометрическая часть в Туркестанском крае вводит наименования ¹⁾:

1. Для первой группы — взвешенные наносы.
2. Для второй группы — растворенные наносы.

Химические соединения в той и в другой группе могут быть усвояемы растениями, когда они достигнут корневой системы растений. Правда, не в одинаковой степени, но все же и те и другие создают плодородие почвы, так сказать, удобряют их. Поэтому в орошении мы разрешаем две основных задачи: а) повышаем почвенную влажность до необходимых пределов и б) вводим определенное количество удобрительных веществ в большей или меньшей степени в зависимости от характера источника орошения.

Удобрительный эффект орошения велик: так, например, при содержании в воде реки Сены на 1 м³ ²⁾ 14,6 гр азотнокислых солей натрия и магния, мы при даче в течение 6 месяцев такой воды 1 га — 15 552 м³ вводим в почву около 40 кг азота, что равнозначает удобрению 1 га 9 000—10 000 кг навоза. Помимо этого мы вводим в почву определенные количества К, Р и извести. Таким образом можно вывести заключение, что химический состав насосов должен быть изучен, ибо по нему мы можем предугадать тот удобрительный эффект от орошения, который может быть достигнут последним.

Не останавливаясь в подробностях на всех составных элементах воды в реках Туркестана и Закавказья, выделим лишь содержание плотного остатка после прокаливания, азотных соединений, окиси Са, Mg и К. Тогда в среднем за 1913 год для Закавказья и за три гидрологических года для Туркестана — для рек Аму-Дарьи (среднее и нижнее течение), Сыр-Дарьи, Чу, Или, Куры (среднее и нижнее течение), Аракса (среднее и нижнее течение) и Алазани эти элементы будут содержаться в количестве, указанном в табл. 26 (стр. 41).

Туркестанские реки, как совершенно ясно из таблицы, богаче закавказских. В редких случаях (Аракс — среднее течение и Алазань) содержание азотистых соединений в воде закавказских рек превышает таковое для туркестанских рек. Содержание извести значительно больше в туркестанских реках, чем в закавказских. Минерализация (общая) также для туркестанских рек выше, нежели для закавказских. Из таблицы можно установить, что общая минерализация увеличивается по течению реки. Для Туркестана характерно обеднение растворенных наносов К и азотистыми соединениями. Известь при движении от средних участков течения к нижним для туркестанских рек также выпадает. Закавказские реки дают обратное явление, но это можно объяснить или недостаточностью точности анализа, или, вернее, неодинаковой сравнимостью результатов и взятием проб. Что касается концентрации, или солености, вод рек Туркестана, то таковая для

¹⁾ Отчет гидрометрической части в Туркестане.

²⁾ Шарпантье-де-Коссиньи. Землед. гидравлика, стр. 11—12.

ТАБЛИЦА 26.

Р е к а	В мр на 1 л				Примечание
	Плотн. ост. после прокали- вания	$N_2O_3 +$ $N_2O_5 +$ NH_3	$CaO +$ MgO	K_2O или KCl	
Аму-Дарья — средн.	351,0	1,13	119,5	10,8	К а л и й—для Тур- кестана в виде оки- си, для Закавказья — хлористый.
Аму-Дарья — нижн.	385,9	0,09	112,2	10,6	
Сыр-Дарья	298,5	0,15	118,7	9,97	
Чу	191,5	0,09	88,2	5,3	
Или	193,1	0,39	86,5	6,4	
Кура — средн.	113,3	следы	54,7	2,7	
Кура — нижн.	190,5	0,00	70,6	10,0	
Аракс — средн.	113,0	7,00	40,0	0,00	
Аракс — нижн.	290,8	следы	107,6	24,5	
Алазань	105,0	3,00	48,0	2,0	

1912 и 1913 г.г. колеблется в пределах от 0,0127‰ до 0,0380‰, как показывает нижеследующая таблица.

ТАБЛИЦА 27.

Р е к а.	Соленость в ‰	
	1912 г.	1913 г.
Аму-Дарья	0,0354	0,0380
Сыр-Дарья	0,0363	0,0322
Чу	0,0248	0,0242
Или	0,0222	0,0215
Чирчик	0,0127	0,0130

Соленость вод рек Туркестана (и вообще всяких рек) колеблется на протяжении года в довольно значительных пределах.

Велики также колебания солености по отдельным периодам. Ниже мы приводим таблицу, в которой это явление с достаточной ясностью выступает¹⁾. (Данные относятся к 1913 году.)

ТАБЛИЦА 28 а.

Р е к а	С о л е н о с т ь в ‰								
	Наименьшая		Наибольшая		Средняя			Отношение	
	Солен.	М-ц	Солен.	М-ц	Год	IV—IX лето	X—III зима	Наиб. к наим.	Зим. к лет.
Аму-Дарья . . .	0,0229	VI	0,0656	III	0,0380	0,0337	0,0550	2,86	1,63
Сыр-Дарья . . .	0,0206	VI	0,0539	II	0,0322	0,0256	0,0474	2,62	1,85
Чу	0,0213	VII	0,0293	V	0,0242	0,0237	0,0242	1,37	1,02
Или	0,0140	VII	0,0334	III	0,0215	0,0169	0,0298	2,38	1,76
Чирчик	0,0086	VII	0,0172	IV	0,0130	0,0121	0,0145	2,00	1,20

Общая соленость всегда выше зимой, чем летом, что объясняется меньшими количествами воды и вследствие этого повышенной концентрацией. Наконец приведем некоторые данные о сравнении содержания некоторых элементов в воде рек Туркестана с таковыми же в воде Нила, как реке, прочно завоевавшей себе славу плодороднейшего источника орошения²⁾.

ТАБЛИЦА 28 б.

Р е к а	Э л е м е н т ы.						Плотн.
	Cl	SO ₃	Na ₂ O	MgO	CaO	K ₂ O	
	Отношение $\frac{\text{содерж. элем. в туркест. реках}}{\text{содерж. элем. в Ниле}}$						остат.
Аму-Дарья	2,3	1,50	2,1	1,4	1,20	1,4	1,6
Сыр-Дарья	1,80	1,9	2,20	1,80	1,50	1,30	1,8
Чу	1,0	0,6	1,1	0,9	0,8	1,1	1,0
Или	2,0	1,2	1,6	1,5	1,7	0,9	1,4

1) Отчет гидрометрической части в Туркестане за 1913 г. Т. I, ст. С. А. Писарева, стр. 66.

2) Отчет гидрометрической части 1913 г. Т. II, стр. 114.

По содержанию вредных (Cl , SO_4 , Na_2O , MgO) солей реки Туркестана значительно богаче Нила, поэтому здесь (в Туркестане) нужно ожидать интенсивного развития солонцов, как следствия орошения. Состав растворенных наносов, концентрация вод источников орошения важна в том смысле, что по величине ее мы, с одной стороны, можем судить о той пользе, которую могут оказать эти воды растению, давая корневой системе растения большее или меньшее количество растворенных (т.-е. легко усвояемых) питательных веществ, а с другой — мы можем оценить тот вред, который может оказать вода растению, введя вместе с питательными солями и соли вредные, коих всегда в воде больше, чем первых. Питательные соли из растворенных наносов легче усвоятся растением, чем таковые же из взвешенных, но, с другой стороны, вредные соли, заключенные во взвешенных наносах, труднее растворяются, поэтому нужно полагать, что взвешенные наносы благоприятнее для растения, чем растворенные. Вывод из сказанного можно сделать такой, что воды реки, в которой значительные количества взвешенных наносов, благоприятнее для растительности, чем воды, в которых много растворенных наносов. Соотношение между растворенными и взвешенными наносами в ‰ ясно видно из следующей таблицы:

ТАБЛИЦА 29.

Р е к а	Наносов в милл. м ³				Наносов в ‰			
	Взвешенных		Растворимых		Взвешенных		Растворимых	
	Год	Вегет. период	Год	Вегет. период	Год	Вегет. период	Год	Вегет. период
Аму-Дарья	318,2	288,7	217,0	145,3	59,4	66,5	40,6	33,5
Сыр-Дарья	31,4	24,6	59,9	31,4	34,4	44,0	65,6	56,0
Чу	0,96	0,65	4,92	2,19	16,3	22,9	89,7	77,1
Или	19,6	13,6	31,7	17,0	38,2	44,4	61,8	55,6
Чирчик	3,05	2,28	9,62	7,07	24,1	24,4	75,9	75,6

Основываясь на предыдущем выводе и на цифрах таблицы 29 можно заключить, что за исключением только Аму-Дарьи в долинах остальных рек возможно ожидать интенсивного засоления.

§ 4. РАСТЕНИЕ КАК ОБЪЕКТ МЕЛИОРАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ОРОШЕНИИ, ЕГО ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ОТЛИЧИЯ В СВЯЗИ С ОРОШЕНИЕМ.

Для образования клетчатки растения и образования водных растворов питательных веществ необходимы значительные количества воды. Вода, двигаясь по растению от корневой системы до листовой поверхности, отдавая

определенные количества на образование водорода, каковой входит в состав клетчатки, в большей или меньшей степени, в зависимости от вида растения и условий, испаряет эту воду, полученную растением из почвы. На величину испарения растением воды влияет как вид растения, так и климатическая обстановка.

1. Чем больше листовая поверхность у растений, тем больше количество испарившейся воды.

2. Чем выше некоторые климатические условия (солнечная инсоляция, температура, сила ветра), тем больше величина испарившейся с листовой поверхности растения воды.

Во всяком случае для нормального развития растения необходимы значительные (достигающие 75—90% от веса растения) количества воды, а таковое растение может получать только из почвы, через свою корневую систему. Количество испаряемой листовой поверхностью воды различно.

1. Оно тем большее, чем лучше развита листовая поверхность.

2. Оно тем больше, чем старше растение.

3. Оно больше в период роста растения, ибо в этот момент происходит образование клетчатки.

Для характеристики степени интенсивности испарения листовой поверхностью различных растений приведем таблицу, составленную С. Раунером (см. указанн. работу, стр. 132) на основании данных Лооза, Джилльберта, Рислера, Гельригеля, Кинга, Вольни и других, характеризующую предельные значения расхода воды на создание единицы сухого вещества того или иного растения:

ТАБЛИЦА 30.

Наименование растений	На единицу сухого вещества потреб. един. воды	
	Наибольш.	Наименьш.
Пшеница	525	248
Ячмень	774	258
Овес	665	250
Рожь	377	235
Маис	309	233
Клевер	564	262
Горох	477	280
Гречиха	546	371

Данные, приведенные в таблице 30, показывают, что пестрота в цифрах значительная; затем цифры эти не абсолютные, а представляют из себя некоторые условные коэффициенты, поэтому интересно привести работу Г. Слезкина, — пересчет этих коэффициентов на величины слоя воды в мм, потребного для надобностей 1 га, занятого тем или иным видом растения¹⁾.

ТАБЛИЦА 31.

Наименование растения	Необходим слой воды для 1 га, занятого растениями по данным:				
	Лооз и Джилберт	Рислер	Гельри- гель	Кинг	Вольни
	В м и л л и м е т р а х				
Пшеница	Среднее 1875	342	150	—	—
Ячмень		—	138	459	372
Овес		468	168	484	372—425
Рожь		249	158	—	469
Манс		510	—	642	—
Клевер	—	—	—	443	—
Гречиха	—	—	—	—	—
Горох	—	—	—	422	420

Если бы эти цифры были вполне точны, то для определения количеств воды, которые необходимо было добавить к естественной влаге, выпавшей в виде дождя, нужно было бы из цифр, указанных в таблице, вычесть количество дождя в мм, разность и даст то количество воды, которое необходимо дать 1 га, занятому данным растением, с помощью оросительных сооружений.

Дабы закончить описание взаимодействия влаги на жизнь растения, приведем данные опытов о влиянии той или иной влажности почвы на рост растения и о влиянии влажности почвы в различные периоды вегетации данного растения.

Первые данные получены были Гельригелем²⁾ для пшеницы, ржи и овса.

¹⁾ С. Раунер. Указ. работа, стр. 133.

²⁾ С. Раунер. Указ. работа, стр. 135—137.

ТАБЛИЦА 32.

Почва — песок. Влажность в % от полной влагоёмк.	Пшеница		Рожь		Овес	
	Урожай зерна	Весь урожай	Урожай зерна	Весь урожай	Урожай зерна	Весь урожай
80—60	11,42	34,685	10,32	26,718	11,85	27,633
60—40	10,30	31,693	10,35	25,478	10,91	24,846
40—20	8,43	23,480	8,08	19,860	7,81	19,595
20—10	2,76	9,768	3,88	12,146	1,80	5,988

Вольни¹⁾ произвел опыты с влиянием различных степеней влажности почвы на рост ячменя в различные периоды вегетации растения и получил следующие данные:

ТАБЛИЦА 33.

Влажность в % в периоды:			Урожай %	
12/V—4/VI	4/VI—7/II	7/VII—13/VIII	Зерна	Соломы
20	60	20	1,43	10,54
20	20	60	1,81	4,31
20	60	60	4,98	9,02
60	20	60	1,48	5,48
60	60	20	1,76	23,25
60	20	20	0,75	4,59

Таким образом растение весьма чутко относится не только к той или иной почвенной влажности, но и к режиму этой влажности. Оба эти явления нужно твердо помнить при расчетах оросительных каналов, при установлении распределения оросительной воды по периоду вегетации растения.

Заканчивая обзор естественно-исторических условий, так или иначе влияющих на размеры и нормы орошения, мы должны подчеркнуть, что

¹⁾ С. Раунер. Указ. работа, стр. 135—137.

почва, растение и климат есть то, для улучшения чего выполняют оросительные мелиорации; сооружение гидротехническое есть функция от указанных факторов,—эти положения необходимо твердо помнить выполняя проектирование всякого рода оросительных мелиораций.

§ 5. СТОИМОСТЬ ОРОШЕНИЯ; ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ УСЛОВИЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ.

В предыдущих параграфах мы останавливались на тех естественно-исторических условиях, которые вызывают применение в сельском хозяйстве оросительных мелиораций и благоприятствуют им. Но при наличии этих факторов все же может быть такое положение, когда оросительные мелиорации или совсем неприменимы или же применение их возможно только в виде простейших мероприятий. Это положение создается в результате определенной экономической и хозяйственной конъюнктуры. Доходность сельского хозяйства может оказаться таковой, что при ней невозможно выделить никаких сумм на выполнение каких-либо коренных улучшений почвы. В силу этого необходимо на-ряду с характеристикой естественно-исторических условий, благоприятствующих применению в сельском хозяйстве оросительных мелиораций, остановиться еще на стоимости и на экономических и сел.-хоз. условиях применения орошения. Дабы охарактеризовать эти обстоятельства, мы остановимся на некоторых проектах орошения в различных районах СССР и при различных сельскохозяйственных условиях. Детальному анализу подвергнем данные из следующих проектов:

1. Проект орошения 39 200 га в Кальджирской степи бывш. Семипалатинской области (Казахстанской АССР) и проект орошения 1-й очереди Кальджирской степи на площади 21 465 га.
2. Проект орошения 47 605 га по р. Чу в районах Атбаш и Кара-Арча Джетысуйской обл., Казахстанской АССР.
3. Проект орошения 20 925 га по р. Чу в Краснореченском районе Джетысуйской обл., Казахстанской АССР.
4. Проект орошения 49 000 га в северо-восточной части Мирзачульской степи в Узбекской ССР.
5. Проект орошения 132 200 га в центральной части Муганской степи, Азербайджанской ССР.
6. Проект орошения 95 500 га в Мильской степи, Азербайджанск. ССР.

Из этих проектов — последние два имеют слабо развитую оросительную и сбросную сети, остальные же разработаны детально. Для характеристики стоимости орошения приведем классификацию всех мыслимых при выполнении оросительных систем расходов.

I. *Отчуждение имущества**)—приобретение земель*), снос построек, вознаграждение за временное занятие земель*), уничтожение посевов и другие убытки.

Примечание. Расходы, отмеченные *, относятся к условиям довоенным; ныне же этих статей в сметных предположениях не может быть, и за счет их сокращения понижается стоимость выполнения оросительных проектов.

II. *Проведение каналов оросительной и сбросной сетей*—земляные работы, укрепление откосов и дна каналов и 3⁰/₀ на вспомогательные расходы.

III. *Гидротехнические сооружения*—регуляционные на источниках орошения, головные сооружения на сети, регуляторы, водodelители и водомеры, вспомогательные и пр.

IV. *Принадлежности каналов*—всякого рода регистрационные аппараты.

V. *Устройство телефонной сети*—аппаратура, монтаж и эксплуатация сети, вспомогательные расходы.

VI. *Гражданские сооружения*—постройки для эксплуатации оросительной и сбросной сети и вспомогательные расходы.

VII. *Дорожные работы*—дороги, мосты и вспомогательные расходы.

VIII. *Общие расходы*—обработка гражданских и гидротехнических сооружений, трассировка каналов, разбивка сооружений и детальное проектирование, расходы по администрированию постройки сети, по эксплуатации системы во время ее сооружения, по санитарии, путевое довольствие и непредвиденные расходы.

IX. *Расходы посторонних ведомств*—контроль, охрана.

По такой группировке и рассмотрим суммы, потребные для выполнения указанных выше проектов. При дальнейшем анализе этого вопроса нас будет интересовать не абсолютное значение стоимости, а относительные значения ее—стоимость орошения 1 га.

Переходя к относительным величинам, мы прежде всего определим стоимость орошения одного га фактически орошаемой системой площади с разбивкой ее по группам расходов (см. табл. 34 на стр. 49)¹⁾.

Наконец приведем таблицу, характеризующую относительно величины стоимости отдельных групп работ в ‰, по таблице 34 (см. табл. 35, на стр. 50).

¹⁾ Из соответствующих протоколов Технического комитета быв. Отд. Земл. Ул. и расценокных ведомостей.

ТАБЛИЦА 34.

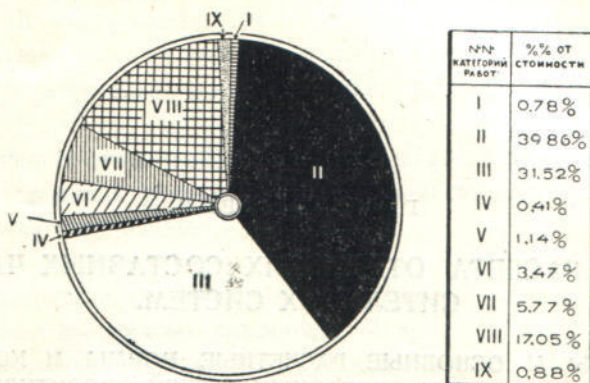
Наименование проекта	Число фактич. орошен. земли	Стоимость орошения 1 га в рублях									
		I рп.	II рп.	III рп.	IV рп.	V рп.	VI рп.	VII рп.	VIII рп.	IX рп.	Всего
Кальджирский общ. . .	36 000	0,76	30,04	16,55	0,38	1,04	2,63	2,43	13,81	—	67,64
Кальджирский 1-й очер.	20 610	0,89	21,77	23,52	0,44	1,40	3,62	0,63	15,82	0,80	68,89
Атбаш — Кара-Арча. .	43 674	0,63	36,91	23,41	—	0,59	7,27	23,33	21,77	0,75	114,66
Красноярченский . . .	19 200	0,48	27,20	39,62	—	0,66	2,47	1,24	18,79	0,86	91,32
Сев.-вост. часть Мирзачульской степи . .	45 000	—	50,59	27,86	0,21	1,39	2,51	5,01	10,86	0,37	98,80
Центральн. Мугань . .	121 300	0,07	20,60	7,86	—	—	0,34	0,33	1,87	0,42	31,49
Мильский	87 600	1,05	26,92	49,65	0,24	0,70	2,71	8,85	19,11	0,88	110,11
Среднее	—	0,65	30,58	26,92	0,32	0,96	3,08	5,98	14,58	0,68	83,75

ТАБЛИЦА 35.

Наименование проекта	Число десяти	Стоимость в 0/0 от стоимости ирригации 1 га									Всего
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Кальджирский общ. . .	36 000	1,12	44,41	24,47	0,56	1,56	3,88	3,59	20,43	—	100,00
Кальджирский 1-я очер.	20 610	1,29	31,60	34,14	0,64	2,03	5,25	0,92	22,96	1,17	100,00
Атбаш — Кара-Арча .	43 674	0,55	32,19	20,41	—	0,52	6,34	20,35	19,00	0,64	100,00
Краснореченский . .	19 200	0,52	29,78	43,38	—	0,72	2,70	1,36	20,57	0,97	100,00
Сев.-вост. часть Мирзачульской степи . .	45 000	—	51,20	28,20	0,21	1,41	2,54	5,07	10,99	0,38	100,00
Центральная Мугань .	121 300	0,22	65,41	24,96	—	—	1,11	1,05	5,94	1,31	100,00
Мильский	87 600	0,95	24,43	45,09	0,21	0,63	2,46	8,04	17,36	0,81	100,00
Среднее. . .	—	0,78	39,86	31,52	0,41	1,14	3,47	5,77	17,05	0,88	—

Выводы из всего сказанного выше следующие:

1. Расходы по мелиоративному строительству в оросительных системах (графы 2, 3, 4) нормального типа достигают в среднем — **71,78%**.
2. Расходы по гражданскому и дорожному строительству в ороситель-



Черт. 6. Распределение стоимости орошения I за в % по отдельным категориям работ.

ных системах (графы 6, 7) достигают в среднем **9,24%**.

3. Расходы по обслуживанию строительства оросительной системы (графы 1, 5, 9) нормального типа достигают — **2,80%**.
4. Расходы на администрацию в годы строительства, на надзор за постройкой, трассировку сети, дополнительные изыскания и проект оросительных систем нормального типа достигают в среднем — **16,17%**.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

ОСНОВАНИЯ РАСЧЕТА ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.

§ 1. ПРИНЦИПЫ И ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ НОРМЫ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.

„Под оросительной системой мы будем понимать совокупность (или систему, сеть) каналов (от самых крупных до мельчайших) и принадлежащих им сооружений, связанную одним главным (магистральным) каналом с определенным источником орошения и обслуживающую определенную площадь земли в целях искусственного орошения ее, т.е. доставления по ней воды и питания этой водой орошаемых полей (в сел.хоз. целях)“¹⁾.

Так формулирует понятие оросительная система проф. А. Н. Костяков в своей работе, выявляющей основной подход к расчету оросительных сооружений. В дальнейшем изложении мы будем придерживаться этого определения, ибо оно, с нашей точки зрения, всецело устанавливает органическую связь между источником орошения, сетью каналов, гидротехническими сооружениями — арматурой этого механизма, — и орошаемым полем.

Вся система работает благодаря энергии, несомой в тех количествах воды, которые передаются от источника орошения до орошаемого поля. Задача проектирования оросительных систем сводится к гидравлическому определению размеров отдельных деталей этого механизма, с одной стороны, и к установлению прочных и устойчивых их размеров — с другой. Поэтому в своем изложении мы всю главу об основах расчета, т.е. определения размеров оросительных систем и их деталей подразделим на две части: 1) расчет деталей оросительной системы с точки зрения гидравлической и 2) расчет деталей оросительной системы с точки зрения статики сооружений.

¹⁾ А. Н. Костяков. Основные элементы расчета оросит. систем, стр. 2.

Какие же детали этого сложного механизма необходимо рассчитать?

Попробуем ввести в этот вопрос некоторую схематизацию. Последовательная схема оросительной системы такова: *источник орошения* — *каптирующее сооружение* — *сеть оросительных каналов с регулируемыми на ней сооружениями* — *поливные канавки и бороздки* — *сеть сбросных каналов с регулируемыми на ней сооружениями* — *сооружения для вывода сбросной воды в водоприемник* — *водоприемник*.

В этой (иногда замкнутой) цепи отдельными элементами, расчет коих должен вестись в целях установления рациональных и рентабельных размеров их, являются следующие:

I. *Каптажные сооружения.*

1. Регуляционные на источнике орошения сооружения.

2. Головные сооружения различного типа.

II. *Транспортирующий механизм с регуляционными сооружениями на нем.*

1. Оросительные каналы.

2. Гидротехнические сооружения на них.

3. Сбросные (отводящие излишнюю для орошаемого поля воду) каналы.

4. Гидротехнические сооружения на них.

III. *Распределительный механизм.*

1. Поливные канавки, бороздки.

2. Различные типы регулятивных частей оросительной системы.

Из перечисленных деталей этого механизма одни из них требуют определения размеров отдельных составных частей их, другие требуют установления количества их, третьи требуют и того и другого.

К первой группе нужно отнести все гидротехнические сооружения данной оросительной системы.

Ко второй группе — поливные канавки и бороздки.

К третьей группе нужно отнести каналы оросительные и сбросные.

Основные моменты проектирования — определение при данных естественно-исторических условиях размеров деталей оросительной системы под углом зрения гидравлического расчета — могут быть намечены в следующем перечне:

1. Определение и проверка размеров поливных и оросительных норм (количество воды, потребной для единицы площади, занятой данным растением, за один раз или за весь вегетационный период растения) и сроков полива, т. е. числа поливов и распределения их во времени.

2. Построение кривой, характеризующей расход воды на орошение определенной площади (единицы обычно) орошаемых земель, занятой тем или иным составом растений за весь период орошения.

3. Установление размеров струи, которая должна подходить в конечном счете к орошаемому полю.

4. Установление количеств (и изменения их во времени) воды, расходуемой в системе на просачивание в почву на пути от источника орошения до орошаемого поля, а также (по аналогии с механизмами) определение коэффициента полезного действия оросительной системы — отношения полезно-затраченных количеств воды (подведенных к орошаемому полю) к количествам воды, взятым из источника орошения.

5. Установление количества воды (и изменения их во времени), подлежащих выводу за пределы орошаемой площади за ненадобностью — сбросных вод.

6. Определение, в зависимости от количеств воды и изменения их во времени, размеров каналов и их составных частей в оросительной и сбросной сетях.

7. Определение размеров гидротехнических сооружений оросительной системы и их деталей, а также установление размеров отверстий, через которые должны проходить те или иные количества воды, потребные орошаемому полю.

По такой схеме и приступим к изложению методов гидравлического расчета отдельных составных элементов оросительной и сбросной сетей.

А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОВЕРКА ПОЛИВНЫХ НОРМ И СРОКОВ ПОЛИВОВ.

Мы установили в первой главе настоящей работы, что основной целью орошения является повышение почвенной влажности в определенном слое почвы (в частном случае — в активном слое) до желаемых пределов. При проектировании нам необходимо установить значение разности между желаемой и имеющейся в каждый данный момент влажностью почвы. Эта разность и определяет собой, наряду с величиной расходования влаги из почвы в данный момент, значение той поливной нормы (см. стр. 3 настоящей работы), которая должна быть в распоряжении проектирующего в данный момент. Следовательно орошением мы достигаем пополнения недостатка влаги в почве, а поливная норма является мерилем этого недостатка. Рассмотрим теперь все необходимые данные и условия для определения поливной нормы. Для понимания дальнейшего изложения введем следующие термины ¹⁾:

m — поливная норма в м^3 на 1 га,

$M = \Sigma m$ — оросительная норма в м^3 на 1 га,

W_0 — содержание влаги в активном слое почвы в м^3 перед поливом,

W — потребное (наивыгоднейшее) содержание влаги в определенном слое почвы в м^3 после полива,

W_1 — потребное содержание влаги в активном слое почвы в м^3 , спустя τ суток после полива,

r — влажность почвы в ‰ по отношению к сырой почве,

¹⁾ Проф. А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 21—37.

h — мощность (толщина) активного (или любого рассматриваемого)

слоя почвы в м,

α — кажущийся удельный вес почвы,

S — содержание солей в ‰ в культурном слое почвы,

$\lambda = \frac{S(100-r)}{r}$ ‰ — концентрация почвенного раствора в ‰,

τ — период между двумя поливами — межполивной период в сутках,

E — количество воды, расходуемое 1 га за тот или иной период на испарение в м³,

ε — количество воды, расходуемое единицей площади на испарение за сутки в м³,

P — количество воды, выпавшее за тот или иной период на 1 га в м³,

Φ — количество влаги, стекающее и просачивающееся бесполезно для растений с га в м³,

μ — коэффициент поглощения осадков в почву за пределы активного слоя.

Соответствующими соотношениями между этими величинами и определяется как качественно, так и количественно режим влажности в активном слое почвы. Если рассматривать слой почвы площадью в 1 га и мощностью в h м, то для него значение поливной нормы, корректирующей содержание влаги в почве и содержащей в себе все части воды, потребные на покрытие различных расходов ее за период τ суток, выражается формулой¹⁾:

$$m = \frac{W_1 + W}{2} - W_0 - P + \frac{\tau \varepsilon}{2} + \Phi. \quad (5)$$

Если бы мы на протяжении какого-либо периода (например периода роста растения) определили влажность в активном слое почвы при условии выпадения осадков в определенные моменты этого периода, то кривая режима содержания влаги в почве изобразилась бы в виде ступенчатой кривой AA^2). (См. черт. 7.)

Давая на протяжении этого периода несколько поливов с разными значениями поливной нормы, мы опустили бы кривую AA от начала периода до его конца в положение CC . Положение же некоторой кривой, характеризующей потребность растения во влаге, определялось бы вогнутой линией BB . На чертеже 7 величины W_0 , W и W_1 показаны соответствующими стрелками. Чертеж ясен и пояснений не требует.

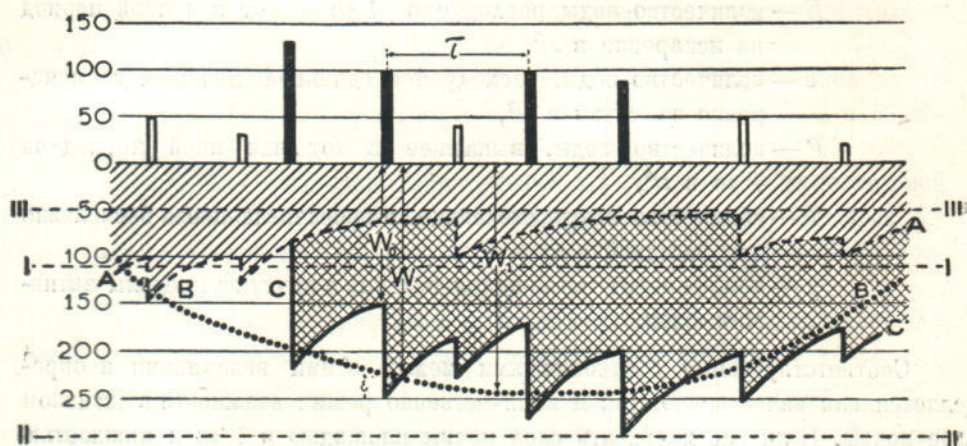
Перейдем теперь к определению составных частей поливной нормы.

1) Проф. А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 35.

2) Проф. А. Н. Костяков. Указ. работа, график на стр. 26.

Величина W_1 — потребное количество влаги в активном слое почвы перед следующим поливом — определяется объемом слоя почвы, кажущимся (объемным) удельным весом почвы (α) и средней для слоя влажностью (r_1) в $\%/\%$. Эта зависимость может быть выражена формулой:

$$W_1 = 10\,000 \cdot h \cdot \frac{r_1 \alpha}{100 - r_1} \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ га.} \quad (6)$$



БЕЛЫЕ СТОЛБИКИ—ОСАДКИ; ЧЕРНЫЕ СТОЛБИКИ—ПОЛИВЫ

Черт. 7. График изменений водного режима почвы при условии орошения.

Аналогично предыдущей формуле возможно определить и значение величины W и W_0 :

$$\left\{ \begin{array}{l} W = 10\,000 \cdot h \cdot \frac{r \alpha}{100 - r} \cdot \text{м}^3 \\ W_0 = 10\,000 \cdot h \cdot \frac{r_0 \alpha}{100 - r_0} \cdot \text{м}^3 \end{array} \right\} \quad (7) \quad \begin{array}{l} \text{где } r \text{ и } r_0 \text{ — соответственная средняя} \\ \text{весовая влажность в } \%/\%. \end{array}$$

Величина P определяется слоем осадков H за период τ . H выражается в метрах. Величины τ и ϵ выражаются — первая в сутках, а вторая на основании наблюдений в $\text{м}^3/\text{сутки}$.

Величина Φ (м^3 с 1 га) есть то количество воды, которое теряется из поливной нормы и осадков на сток с 1 га и на просачивание по площади 1 га ниже активного слоя почвы.

Обращаясь к значению величины ϵ , мы приведем некоторые данные из практики туркестанского орошения¹⁾:

¹⁾ Б. С. Арканов. Материалы по водопользованию в Туркестанском крае в 1914 г., стр. 46—47.

ТАБЛИЦА 36а¹⁾.

Район орошения	Ежесуточный расход в межполивной период ε — м ³ /сутки	
	Хлопчат.	Люцерна
Иски-Ташкент	50,67	47,43
Исфара	80,03	74,53
Самарканд	81,31	69,33
Мирзачульская оросительная станция	53,03	—
	54,01	—
	54,99	—

Европейские и русские наблюдения над величиной ε дают следующие данные ²⁾:

ТАБЛИЦА 36б.

Авторы наблюдений.	Ежесуточный расход за межполивной период ε — м ³ /сутки			
	Пшеница	Ячм. и рожь	Овес	Кукуруза
Рислер (Risler)	26,51—27,53	—	28,48—48,12	27,50—39,28
Вольни (Wolleny)	—	33,39	34,37	—
Богданов	26,51	20,50	43,21	—

Авторы наблюдений	Ежесуточный расход за межполивной период ε — м ³ /сутки.			
	Люцерна	Л у г а	Картофель	Е л ь
Рислер (Risler)	34,37—68,74	31,42—69,72	7,86—13,75	4,91—11,78
Вольни (Wolleny)	—	—	—	—
Богданов	—	—	—	—

1) И. С. Мастеров. Отчеты гидром. работ в Голодной степи (опытные данные).

2) А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 31.

Что касается величины τ , то таковая определяется климатом, почвами и растением. Длина этого периода различна также в зависимости от различной величины поливной нормы. Приведем данные о фактически наблюдаемых величинах τ для различных культур, районов и моментов оросительного периода ¹⁾.

ТАБЛИЦА 37.

Р а й о н ы	Межполивной период τ суток (хлопчатник)						Межполивной период τ суток (люцерна)					
	В м е с я ц а х						В м е с я ц а х					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Самаркандский	—	—	20,0	24,0	24,0	—	—	—	37,0	21,5	—	—
Исфаринский	—	—	8,3	13,3	7,7	12,0	—	24,0	11,7	16,0	7,0	—
Иски-Ташкентский	19,0	28,0	28,0	21,0	12,0	—	—	36,0	31,0	30,0	20,0	—

Количество влаги, получаемое активным слоем почвы за определенный период в виде осадков, выражается формулой:

$$P = 10000 H \cdot \mu \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ га}, \quad (8)$$

где μ — есть величина поглощения воды в $\%/\%$.

Наконец количества воды, расходуемые бесполезно на потери в каналах сети и на сток с поверхности почвы в сбросную сеть, выражаются следующей формулой:

$$\Phi = (P + m) \pi \text{ м}^3, \quad (9)$$

где Φ — количества воды, расходуемые из поливной нормы и осадков на потери, π — коэффициент валовых потерь в $\%/\%$ (в первом приближении его можно считать по практическим данным $= 33\%$).

После всех замен (по форм. 6, 7, 8, 9) мы можем написать значение поливной нормы, вызывающей желаемую для нас влажность почвы.

$$m = 5 \frac{h}{1 - \pi} \left\{ \alpha \left(\frac{r_1}{100 - r_1} + \frac{r}{100 - r} - \frac{r_0}{100 - r_0} \right) - \right. \\ \left. - 2 \frac{H}{h} \mu (1 - \pi) + \frac{\tau \varepsilon}{10h} \right\}. \quad (10)$$

¹⁾ Б. С. Арканов. Материалы по водопользованию в Туркестанском крае.

Если бы в нашем распоряжении всегда были данные о значениях τ , r_1 , r_0 , ε , μ и π , то при проектировании задача о назначении величины поливной нормы могла бы быть разрешена вполне удовлетворительно. Но все эти величины в большинстве районов и для большинства типов почв и климата являются неизвестными. Помимо этого, даже решив эту формулу, мы не сможем получить такое значение m , при котором получался бы наибольший эффект от орошения, ибо значение W (наивыгоднейшее содержание влаги при данных условиях) может быть получено для различных растений и различного комплекса факторов, обуславливающих жизнь и наилучшее развитие растения, лишь в результате многолетних опытов. В настоящее и ближайшее время эти задачи для некоторых районов недостаточного естественного увлажнения лишь намечены — имеется лишь весьма скудный материал; поэтому при определении величины m необходимо идти путем подбора, устанавливая только границы, в которых значение m должно находиться. Тогда задача подбора поливной нормы должна быть сформулирована в таких выражениях: каждая, выбранная для данных условий и данного растения поливная норма будет оптимальна (в первом приближении) в том случае, если она создаст запас влаги в активном (обычно мощностью в 1,0 м) слое почвы, не выходящий из пределов наименьших и наибольших допустимых (с точки зрения влагоемкости и характера почв) запасов влаги в почве.

Каковы же эти наибольшие и наименьшие пределы?

Обычно (с известной долей приближения) для условий реальной действительности принимают W_{max} равным 80% насыщения полной скважности (влагоемкости) почвы, W_{min} принимают равной 20% насыщения полной скважности (влагоемкости) почвы. Последний предел, как мы уже отмечали выше, устанавливается в зависимости от степени концентрации почвенных растворов. Первый предел обуславливается необходимостью в аэрации почвы. В пределе возможно допустить, что

$$m = W_{max} - W_{min}. \quad (11)$$

Проверка поливных норм может происходить при условии наличия определений удельного (объемного) веса почвы и влажности почвы в соответствующие моменты. Если же этих данных у нас нет, то возможно руководствоваться следующей таблицей ¹⁾ (несколько сокращенной).

¹⁾ Проф. А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 408.

ТАБЛИЦА 38.

Полная влагоемкость в % от объема, слоя, мощ- ности 1 м и площ.—1 га.	Содержание воды в слое мощ. 1 м и площ. 18 га			Поливная норма м ³ —1 га		
	W оптим. 0,5 вл.	W максим. 0,8 вл.	W миним. 0,2 вл.	m максим.	m _{optim} при	
					$\beta = 20\%$	$\beta = 25\%$
30	1 669	2 417	583	1 834	667	833
35	1 834	2 750	667	2 083	734	916
40	2 083	3 167	833	2 334	833	1 042
45	2 334	3 583	916	2 667	934	1 167
50	2 667	4 000	1 084	2 916	1 066	1 333
55	2 916	4 334	1 250	3 084	1 167	1 459

Для пояснения методики подбора поливной нормы приведем проверку поливных норм для хлопчатника следующего значения:

ТАБЛИЦА 39.

К у л ь т у р а	№№ полива	Полив. норма м ³	Примечание
Хлопчатник	1	1 250	Почва с $\alpha = 1,3$ $A = 35\%$
”	2	1 500	$r = 8\%$ $\Phi = 0$
”	3	1 000	$P = 0$ $\tau = 20$
”	4	1 250	$\varepsilon = 54 \text{ м}^3/\text{сут.}$

При таких данных:

Перед первым поливом:

$$W_0 = 10000 \frac{r_0 \alpha}{100 - r_0} = 10000 \frac{8,1,3}{92} \approx 1130 \text{ м}^3/\text{га}.$$

После первого полива:

$$W_0 + m_1 = 1130 + 1250 = 2380 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Перед вторым поливом:

$$W'_1 = W_0 + m_1 - \tau\varepsilon = 2380 - 54.20 = 1300 \text{ м}^3/\text{га}.$$

После второго полива:

$$W''_1 + m_2 = 1300 + 1500 = 2800 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Перед третьим поливом:

$$W'''_1 = W'_1 + m_2 - \tau\varepsilon = 2800 - 1080 = 1720 \text{ м}^3/\text{га}.$$

После третьего полива:

$$W''_1 + m_3 = 1720 + 1000 = 2720 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Перед четвертым поливом:

$$W'''_1 = W''_1 + m_3 - \tau\varepsilon = 2720 - 1080 = 1640 \text{ м}^3/\text{га}.$$

После четвертого полива:

$$W''''_1 + m_4 = 1640 + 1250 = 2890 \text{ м}^3/\text{га}.$$

При данных же условиях,

$$W_{\min} = 667 \text{ м}^3, \quad W_{\max} = 2750 \text{ м}^3, \quad W_{\text{optim}} = 1834 \text{ м}^3,$$

для соблюдения рациональности в орошении необходимо:

$$W_0 > W_{\min}, \quad W_1 < W_{\max}, \quad W_0 + m < W_{\max}. \quad (12)$$

Для данных норм и схемы поливов имеем:

Для I межполивного периода:

$$W_0 > W_{\min}, \quad W_0 + m_1 > W_{\min}, \\ W_0 + m_1 < W_{\max}$$

Для II межполивного периода:

$$W'_1 > W_{\min}, \quad W'_1 < W_{\max}, \quad W'_1 + m_2 > W_{\max}, \\ W''_1 > W_{\min}, \quad W''_1 < W_{\max}$$

Для III межполивного периода:

$$W_1''' > W_{\min} \quad W_1''' < W_{\max}$$

Суммируя полученные результаты, получаем следующую таблицу:

ТАБЛИЦА 40.

Периоды	Величины в м ³ /га		
	W_0	$W_0 + m$	W_1
Перед 1-м поливом	1 130	—	—
Первый межп. пер.	—	2 380	1 300
Второй межп. пер.	—	2 800	1 720
Третий межп. пер.	—	2 720	1 640
После 4-го полива	—	2 890	—

За исключением значений $W_0 + m$ для второго межполивного периода и для периода после 4-го полива, все остальные отвечают двум основным условиям — $> W_{\min}$ и $< W_{\max}$.

Видимо второй полив при данных условиях чрезмерен, поэтому примем поливную норму его = 1 250 м³/га, тогда получаем новую таблицу:

ТАБЛИЦА 41.

Периоды	Величины в м ³ /га		
	W_0	$W_0 + m$	W_1
Перед 1-м поливом	1 130	—	—
1-й межп. период	—	2 380	1 300
2-й межп. период	—	2 550	1 470
3-й межп. период	—	2 470	1 390
После 4-го полива	—	2 640	—

Теперь все цифры отвечают двум основным условиям — $> W_{min}$ и $< W_{max}$. Остается еще установить соблюдение третьего условия. В этом случае возможно говорить не о равенстве:

$$W_0 + m = W_1 = W_{optim}, \quad (12)$$

а лишь о равенстве:

$$\frac{W_0 + m}{2} + \frac{W_1}{2} = W_{optim}; \quad (13)$$

для данных условий имеем:

Для 1-го межпол. периода	1 840 > 1 834
" 2-го " "	2 010 > 1 834
" 3-го " "	1 930 > 1 834

Хотя нигде условие третье не соблюдено полностью, но отклонения среднего для межполивного периода запаса влаги от W_{optim} настолько мало, что возможно принять намеченные поливные нормы и их распределение по отдельным периодам.

Что касается определения и проверки сроков поливов (а следовательно и длины межполивных периодов), то метод подбора будет несколько иной. Теоретически возможно решить эту задачу определением по отдельным дням межполивного периода запасов влаги в почве с учетом ежесуточного их расхода на потребности растения. Но обычно поступают иначе. Поливы, как показала практика орошения, намечаются применительно к фазам развития растения. Задавшись определенными нормами, поверяют таковые по вышеизложенным методам и если получают значения W_1 слишком близкими от W_{min} , то изменяют сроки поливов, сдвигая их постольку, поскольку разрешают это фазы развития растений. При измененном распределении поливов поверяют еще раз нормы полива, и если на этот раз имеют близость $\frac{1}{2}[(W_0 + m) + W_1]$ к W_{optim} , а с другой стороны, и W_1 делается, по изменении, ближе к W_{optim} , чем к W_{min} , то считают эту задачу разрешенной вполне удовлетворительно. В рассмотренном примере соблюдается довольно удовлетворительно и это третье условие, поэтому и значение поливных норм и их распределение по оросительному периоду нужно признать удачными.

Для полной уверенности в правильном подборе поливных норм и сроков для определенного севооборота следует производить проверки для всех культур севооборота. Но так как эта работа (особенно при пестрых составах культур) затруднительна, то обычно проверку производят по отношению к 2—3 основным культурам севооборота, а в исключительных случаях для тех культур, которые особенно чувствительны к колебаниям запасов влаги и которые, несмотря на незначительное место, занимаемое ими в севообороте, являются особенно доходными.

Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ГИДРОМОДУЛЯ ОРОШЕНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ КРИВОЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ЕГО.

Из понятия об орошении (оросительных мелиорациях) ясна основная цель этого рода мелиораций — перевод одного состояния влаги в другое — состояние тока (расхода) в состояние почвенной влажности. От источника орошения до выпуска воды из каналов на орошаемую площадь вода находится в состоянии тока. Нужно связать эти два состояния влаги какими-то промежуточными зависимостями, дающими возможность устанавливать, в какой расход канала на единицу площади должна превратиться та или иная принятая нами поливная норма.

Зная эти зависимости, мы, по заданным нам почве и потребностям растения в связи с определенной климатической обстановкой поливной нормы, сможем подойти к величине расхода канала. Метод получения этих зависимостей был предложен впервые в русской оросительной литературе проф. А. Н. Костяковым в 1913 году в своей работе „Приложения учения о гидро модуле к расчету оросительных систем“¹⁾ и назван был им методом построения графиков гидро модуля (или режима канала при заданном составе культур). Сущность этого метода заключается в графическом изображении на протяжении оросительного периода величин расхода канала на единицу площади при данных нормах, сроках и продолжительности полива. Прежде чем приступить к изложению этого основного метода проектирования оросительных систем, приведем терминологию, предложенную в цитированной работе А. Н. Костякова и принятую в последнее время практиками оросительного дела²⁾.

1. *Периодический (поливной) гидро модуль потребления культуры* — есть тот расход, который нужно подать в 1 секунду на 1 единицу площади, занятой данной культурой, при необходимости оросить данной поливной нормой (m) всю площадь за период полива (t). Математическая зависимость между гидро модулем, поливным периодом и поливной нормой выражается следующей формулой:

$$q_0 = \frac{m}{t \cdot 86\,400} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (14)$$

где

q_0 — периодический гидро модуль потребления данной культуры в $\text{м}^3/\text{сек}$,

m — поливная норма м^3 на 1 га,

t — период полива в сутках,

86 400 — число секунд в 1 сутках.

¹⁾ Отчет гидро модульной части за 1913 г. Часть I, вып. 1, 1914 г.

²⁾ Б. С. Арканов. Материалы по изучению водопользования в Туркестанском крае за 1914 г., стр. 91—93.

Этот расход должен быть у самого орошаемого и занятого данной культурой поля.

2. *Периодический (поливной) гидромодуль подачи культуры.* Если у поля необходимо подать величину q_0 , то в голове оросительной системы, у того ее места, где вода из источника орошения попадает в оросительную сеть, должно быть подано больше на определенное количество, зависящее от явлений фильтрации в стенки и дно каналов и испарения с поверхности воды. Это количество обычно измеряется некоторым коэффициентом (η), суммирующим в себе эти, так сказать, бесполезные траты воды — потери, и носящим название коэффициента полезного действия оросительной системы.

Если мы гидромодуль подачи назовем через q'_0 , а гидромодуль потребления через q_0 , то отношение этих двух величин и даст нам значение величины η :

$$\eta = \frac{q_0}{q'_0} \quad (15)$$

Подставляя вместо q_0 его значение из предыдущей формулы, мы получаем выражение:

$$q'_0 = \frac{m}{\eta \cdot t \cdot 86\,400} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (16)$$

где все значения известны.

Для проектирования применяются или формула (14) или формула (16). В последнем случае мы получаем данные, относящиеся к головному сооружению системы, т.е. данные, характеризующие тот расход головного сооружения на единицу площади, который нужно иметь для того, чтобы дать гидромодуль потребления на орошаемое поле и покрыть из расхода всевозможные потери оросительной воды на пути от головного сооружения до орошаемого поля.

Чтобы яснее представить метод построения графика гидромодуля, приведем пример.

В составе культур имеется:

а) хлопчатника	40%
б) люцерны	20%
в) озимой пшеницы	15%
г) кукурузы	15%
д) огород (бахчи и пр.)	10%

Число поливов и размер поливных норм следующий:

а) хлопчатник	5 поливов по 1 000	м ³
б) люцерна	5 поливов по 1 250	„
в) озим. пшеница	2 + 1 пред. по 1 250	„
г) кукуруза	4 полива по 1 000	„
д) огород	6 поливов по 750	„

Сроки поливов и длины поливных периодов будут следующие:

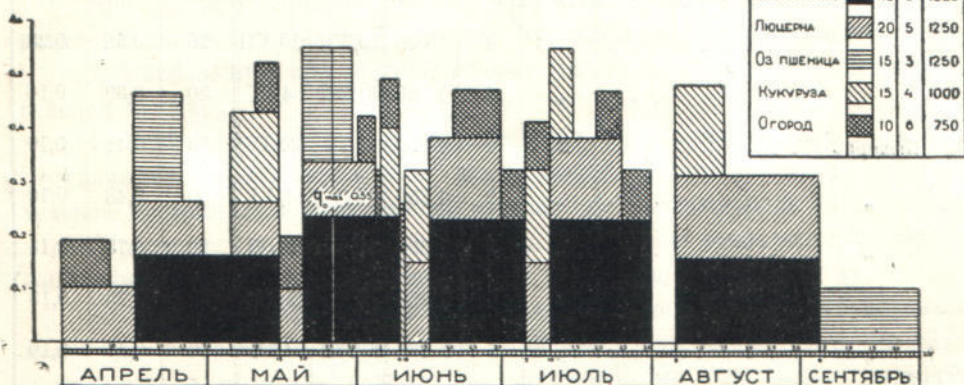
Орошение.

ТАБЛИЦА 42.

Культура	№№ поливов	Сроки поливов.		Средний день полива	Длина поливного периода суток <i>t</i>
		От	До		
Хлопчатник	1-й	15/IV	15/V	30/IV	30
"	2-й	20/V	9/VI	30/V	20
"	3-й	15/VI	5/VII	25/VI	20
"	4-й	10/VII	30/VII	20/VII	20
"	5-й	5/VIII	4/IX	20/VIII	30
Люцерна	1-й	1/IV	30/IV	15/IV	30
"	2-й	5/V	4/VI	20/V	30
"	3-й	10/VI	30/VI	20/VI	20
"	4-й	5/VII	25/VII	15/VII	20
"	5-й	5/VIII	4/IX	20/VIII	30
Озимая пшеница	Пр.	5/IX	25/IX	15/IX	20
"	1-й	15/IV	25/IV	20/IV	10
"	2-й	20/V	30/V	25/V	10
Кукуруза	1-й	5/V	15/V	10/V	10
"	2-й	5/VI	15/VI	10/VI	10
"	3-й	5/VII	15/VII	10/VII	10
"	4-й	5/VIII	15/VIII	10/VIII	10
Огород	1-й	31/III	10/IV	5/IV	10
"	2-й	10/V	20/V	15/V	10
"	3-й	31/V	10/VI	5/VI	10
"	4-й	20/VI	30/VI	25/VI	10
"	5-й	30/VI	10/VII	5/VII	10
"	6-й	20/VII	30/VII	25/VII	10

На основании приведенных данных мы можем для каждой культуры и для каждого полива составить периодический гидромодуль потребления. Ввиду того, что наша задача — составить график гидромодуля потребления для комплекса культур, мы соответствующие гидромодули отнесем не к единице площади, а к тем долям этой единицы, которые показаны в виде $\frac{\%}{\%}$ (см. табл. 43 на стр. 68).

Получив цифры последнего столбца таблицы, необходимо нанести их на график, отмечая на оси ординат цифры последнего столбца таблицы, а по оси абсцисс — откладывая сроки поливных периодов. В результате получим следующий график (см. черт. 8).



Черт. 8. График изменения периодического поливного гидромодуля потребления.

Таким образом кривая, объемлющая ступенчатую фигуру графика, и будет представлять из себя кривую изменения расхода канала на 1 га орошаемой площади, занятой определенным составом культур. При этом расходе на каждый гектар площади будет подана определенная поливная норма для каждой культуры и полива за определенный период времени.

Казалось бы, что этим и заканчивается подбор ординат графика гидромодуля, ибо, зная площадь, подлежащую орошению данной системой, при том условии, что она вся будет занята культурами данного состава, мы сможем определить в $\text{м}^3/\text{сек}$ то количество воды, которое необходимо взять из источника орошения на всю орошаемую площадь. Это количество воды получим по следующей формуле:

$$Q = \omega \cdot q_0, \quad (17)$$

где

Q — есть количество воды, которое необходимо брать в каждый данный момент из источника орошения в $\text{м}^3/\text{сек}$.

ω — орошаемая площадь в га,

q_0 — значение ординаты графика гидромодуля в $\text{м}^3/\text{сек}$.

ТАБЛИЦА 43.

	г/о под культ.	№ полива	Поливная норма в м ³	Срок поливов		Период полива в сутках	Гидромодуль на g_0 в л/сек	Гидромодуль на g_0 от I та (х...II) g_0 л/сек
				От	До			
Хлопчатник	40	1	1 000	15/IV	15/V	30	0,39	0,16
"	"	2	1 000	20/V	9/VI	20	0,58	0,23
"	"	3	1 000	15/VI	5/VII	20	0,58	0,23
"	"	4	1 000	10/VII	30/VII	20	0,58	0,23
"	"	5	1 000	5/VIII	4/IX	30	0,39	0,16
Люцерна	20	1	1 250	1/IV	30/IV	30	0,48	0,10
"	"	2	1 250	5/V	4/VI	30	0,48	0,10
"	"	3	1 250	10/VI	30/VI	20	0,73	0,15
"	"	4	1 250	5/VII	25/VII	20	0,73	0,15
"	"	5	1 250	5/VIII	4/IX	30	0,48	0,10
Озимая пшеница	15	Пр.	1 250	5/IX	25/IX	20	0,73	0,11
"	"	1	1 250	15/IV	25/IV	10	1,46	0,22
"	"	2	1 250	20/V	30/V	10	1,46	0,22
Кукуруза	15	1	1 000	5/V	15/V	10	1,16	0,17
"	"	2	1 000	5/VI	15/VI	10	1,16	0,17
"	"	3	1 000	5/VII	15/VII	10	1,16	0,17
"	"	4	1 000	5/VIII	15/VIII	10	1,16	0,17
Огород	10	1	750	31/III	10/IV	10	0,87	0,09
"	"	2	750	10/V	20/V	10	0,87	0,09
"	"	3	750	31/V	10/VI	10	0,87	0,09
"	"	4	750	20/VI	30/VI	10	0,87	0,09
"	"	5	750	30/VI	10/VII	10	0,87	0,09
"	"	6	750	20/VII	30/VII	10	0,87	0,09

Размер головного сооружения и живое сечение магистрального (главного) канала определяется величиной Q . Так как величина Q зависит от q_0 , каковое по значению изменяется в определенных пределах (см. черт. 8), то канал должен быть рассчитан таким образом, чтобы пропускать наибольшее количество воды. Для соблюдения этого условия и для орошения, например, площади в 10 000 га применительно к условиям построения нашего графика, предыдущая формула будет разрешена в следующем виде:

$$Q = \frac{10\,000 \cdot 0,55}{1\,000} \text{ м}^3/\text{сек} = 5,5 \text{ м}^3/\text{сек},$$

где

0,55 — наибольшая ордината графика (20/V—1/IV и 10/VII—15/VII).

При расчете каналов обычно разрешают для рационально-спроектированных каналов два основных условия (не считая условия „незаиляемости“).

1. Наибольшую при прочих равных условиях пропускную способность сечения канала.

2. Равномерность работы канала, ибо колебания в расходе канала от минимума до максимума, при значительной амплитуде и при незначительной продолжительности работы канала, при максимальных (или близких к ним) расходах, ведут, с одной стороны, к усилению бесполезных потерь на фильтрацию, а с другой, — к увеличению стоимости выполнения их.

Поэтому всегда стремятся строить график таким, чтобы его ординаты-максимум и ординаты-минимум не отличались чрезмерно друг от друга, и чтоб данная ордината встречалась подряд более или менее продолжительный срок. Помимо этих соображений при построении графика гидромодуля приходится принимать еще одно весьма важное условие: необходимо, чтобы график гидромодуля был конформен (параллелен) кривой режима источника орошения. При таком условии у нас будет уверенность в том, что при использовании воды из источника орошения полностью в каждый данный момент у нас будет хватать воды (если только площадь орошения в сфере влияния данного источника не более его возможностей в смысле водных ресурсов).

На основании изложенных требований к правильной работе канала мы приходим к необходимости перестраивать полученные при строго определенных нормах полива и составе культур ординаты графика, — приходим к „укомплектованию графика гидромодуля“¹⁾.

Укомплектование графика гидромодуля покоится на положении постоянства расхода канала на данную площадь. Исходить приходится из следующей формулы:

$$Q = \omega \cdot q_0. \quad (18)$$

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 121.

При чем задача укомплектования будет состоять из трех моментов:

1. Снижение q_0 (ординат графика гидро модуля) в те моменты, когда по режиму реки это необходимо.

2. Увеличение q_0 тогда, когда необходимо амплитуду между двумя смежными ординатами уменьшить по возможности.

3. Заполнение на графике гидро модуля пустых мест — установление непрерывного действия канала.

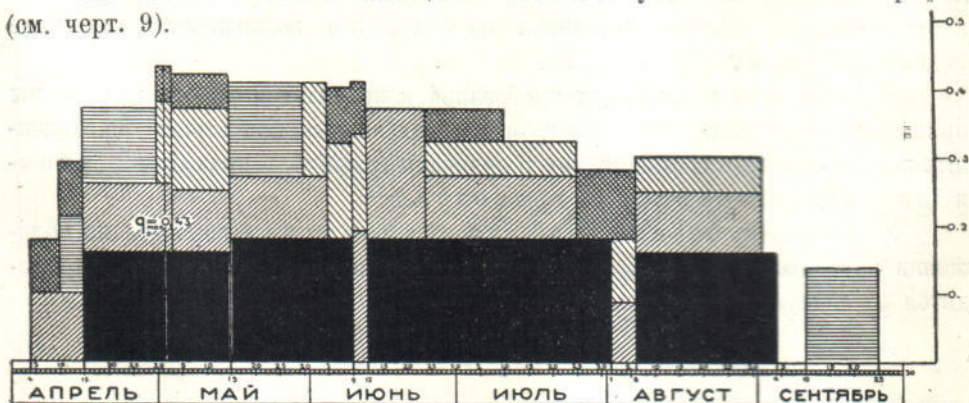
Все эти три момента достигаются изменениями величины t при постоянстве величины m (в формуле периодического гидро модуля потребления культуры). Изменению величины t полагается предел соответствующими фазами развития растения. Иной раз приходится отказываться от дальнейшего изменения t , ибо это последнее приведет к тому, что для некоторых участков орошаемого поля данный полив будет дан тогда, когда растение не будет нуждаться в поливе или когда полив будет вреден для растения. Поэтому распределение поливов делается в соответствии с фазами развития, периоды t намечаются значительно меньшими, чем промежуток между двумя смежными фазами, а при укомплектовании (если необходимо увеличение t) увеличение t ведется только до пределов, равных числу суток между смежными фазами.

Произведем укомплектования построенного нами графика № 8, дабы снизить максимум ординат до возможных пределов, сделать его более плавным, совместить ординату-максимум с максимумом режима источника орошения (21/IV—5/V) и заполнить снижения ординат 10/IV—15/IV; 30/IV—5/V; 15/V—20/V; 31/V—1/VI; 5/VI—6/VI; 9/VI—15/VI; 30/VI—5/VII; 15/VII—20/VII; 31/VII—1/VIII.

Укомплектование, дабы не затемнить основы его, будем вести в предположении ненужности считаться с фазами развития растений.

При укомплектованном графике мы получаем следующие сроки поливов и величины периодического гидро модуля потребления отдельных культур (см. табл. 44 на стр. 71).

На основании этой таблицы и составим укомплектованный график (см. черт. 9).



Черт. 9. Укомплектованный график периодического поливного гидро модуля.

ТАБЛИЦА 44.

Культура	№№ по-лива	Полив. норма $m^3/сек$	До укомплектования			После укомплектован			Гидром. после уком. л/сек	
			Начало полива	Конец полива	t	Начало полива	Конец полива	t	На га	На % площ
Хлопчатник	1	1 000	15/IV	15/V	30	15/IV	15/V	30	0,39	0,16
"	2	1 000	20/V	9/VI	20	15/V	9/VI	25	0,46	0,18
"	3	1 000	15/VI	5/VII	20	12/VI	7/VII	25	0,46	0,18
"	4	1 000	10/VII	30/VII	20	7/VII	1/VIII	25	0,46	0,18
"	5	1 000	5/VIII	4/IX	30	5/VIII	4/IX	30	0,39	0,16
Люцерна . .	1	1 250	1/IV	30/IV	30	4/IV	3/V	29	0,49	0,10
" . .	2	1 250	5/V	4/VI	30	5/V	4/VI	32	0,45	0,09
" . .	3	1 250	10/VI	30/VI	20	9/VI	24/VI	15	0,96	0,19
" . .	4	1 250	5/VII	25/VII	20	24/VI	24/VII	30	0,48	0,09
" . .	5	1 250	5/VIII	4/IX	30	1/VIII	31/VIII	30	0,48	0,09
Оз. пшеница	Пр.	1 250	5/IX	25/IX	20	10/IX	25/IX	15	0,96	0,14
"	1	1 250	15/IV	25/IV	10	10/IV	30/IV	20	0,72	0,14
"	2	1 250	20/V	30/V	10	15/V	30/V	15	0,96	0,14
Кукуруза . .	1	1 000	5/V	15/V	10	25/IV	10/V	15	0,77	0,12
" . .	2	1 000	5/VII	15/VII	10	30/V	12/VI	13	0,96	0,14
" . .	3	1 000	5/VII	15/VII	10	24/VI	24/VII	30	0,39	0,06
" . .	4	1 000	5/VIII	15/VIII	10	1/VIII	11/IX	31	0,38	0,05
Огороды . .	1	750	30/III	10/IV	10	4/IV	1 /IV	11	0,79	0,08
" . .	2	750	10/V	20/V	10	30/IV	15/V	16	0,54	0,05
" . .	3	750	31/V	10/VI	10	1/VI	12/VI	11	0,79	0,08
" . .	4	750	20/VI	30/VI	10	24/VI	10/VII	16	0,54	0,05
" . .	5	750	30/VI	10/VII	10	27/VII	5/VIII	9	0,96	0,10
" . .	6	750	20/VII	30/VII	10	—	—	—	—	—

Достоинства укомплектованного графика (черт. 9) заключаются в следующем (по сравнению с графиком неуккомплектованным):

1. Его ордината-максимум меньше, чем у первого графика (у второго $q_{0\max} = 0,43$ л/сек, а у первого $q_{0\max} = 0,55$ л/сек).

2. Вместо 9 внезапных падений объемлющей кривой первого графика имеем на втором графике плавное нарастание ординат с $4/IV$ до $1/V$ и плавное также уменьшение их с $1/V$ — $12/VI$.

3. В то время, как при 9 снижениях ординат, в первом графике исчисляемых до $0,36$ л/сек, во втором графике имеем 3 крупных ступени в кривой, исчисляемых всего лишь в $0,05$ л/сек.

4. На первом графике имеем частные максимумы 10 — $15/V$, 20 — $30/V$, 4 — $9/VI$, 20 — $30/VI$, 10 — $15/VII$, несовпадающие в большинстве случаев с максимумом кривой режима источника орошения, во втором графике имеем только один максимум, совпадающий с периодом максимум в кривой режима источника орошения ($27/IV$ до $5/V$).

На основании изложенного можно установить, что укомплектование произведено правильно. Если дается дополнительное условие — совмещение распределения поливов различных культур с фазами их развития, то на укомплектованном графике нужно проверить это условие и выправить те сроки поливов, которые не отвечают этому условию. По выполнении этой работы получают окончательный график гидромодуля, коим и пользуются для установления расчетных для данной оросительной системы расходов каналов различной категории.

В. УСТАНОВЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НА ФИЛЬТРАЦИЮ И ИСПАРЕНИЕ В КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ И ЕЕ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ.

Мы уже установили при описании водных свойств почв, что почвы обладают различной степенью проницаемости, определяемой составом почв, физическими ее свойствами, химическим составом ее и ее почвенного раствора. В приложении к практической обстановке это свойство почв наряду с физическим явлением — испарением с водной поверхности, в той или иной степени интенсивным в зависимости от характера климата — заставляет проектирующего оросительные системы вводить в формулу

$$Q = \omega \cdot q_0$$

некоторый поправочный коэффициент, определяющий собой ту прибавку, которую нужно придать к расходу — потребления, дабы при своем движении от источника орошения до орошаемого поля этот расход сохранился в целости. Эта прибавка идет за счет трех потребностей оросительной системы:

1. На покрытие фильтрации (просачивания) в грунты стенок и дна каналов.

2. На покрытие испарения с водной поверхности каналов оросительной сети.

3. На пополнение бесполезных утечек в сооружениях в силу возможного их нерационального сооружения.

Первые два фактора закономерны, изменяются правильно с изменением природных условий, последний фактор неодинаков не только в различных системах, но и для различных участков одной и той же системы. Обычно (хотя это и не столь правильно) последним явлением пренебрегают, вводя некоторое увеличение при определении первых двух явлений. Если мы все сказанное приложим к величине Q , то эта величина будет различна на поле и у источника орошения. Если назовем Q_{nt} —расход на данную площадь у орошаемого поля, а Q_{br} —расход на данную площадь у источника орошения, то соотношение между этими двумя величинами можно будет выразить в следующем виде:

$$\eta = \frac{Q_{nt}}{Q_{br}}, \quad (19)$$

где

Q_{nt} —расход в $м^3/сек = q'_0 \cdot \omega$ — у орошаемого поля,

Q_{br} —расход $м^3/сек = q'_0 \cdot \omega$ — у источника орошения,

η —коэффициент полезного действия системы (аналогично таковому же для любой машины).

Заменяя Q_{nt} через равную ему величину ωq_0 , где ω —орошаемая площадь, а q_0 —периодический гидромодуль потребления культуры или определенного состава культур, мы получаем окончательное выражение Q_{br} :

$$Q_{br} = \frac{1}{\eta} \cdot \omega \cdot q_0 \text{ } м^3/сек. \quad (20)$$

Величина η зависит, главным образом, от потерь на фильтрацию. По данным проф. Фортие (Fortier), на основании его опытов в штате Монтана в С.-А. С. Шт.¹⁾, потери на испарение достигают всего лишь $1/75$ потерь на фильтрацию в каналах. При водохранилищах потери на испарение составляют заметную величину. Но для нашего случая—для каналов оросительной сети—потери на испарение не играют заметной роли.

Величина η различна для различных климатических и прочих природных и бытовых условий. В общем выраженная в $\%/\%$ от расхода брутто она составляет²⁾ от 30 до 60 $\%/\%$. Следовательно на фильтрацию теряется от 70 до 40 $\%/\%$. Как и потери на фильтрацию, величина η зависит:

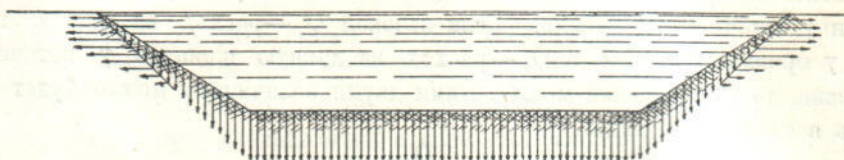
1. От свойств грунтов, в которых проведены каналы.
2. От величины расхода.

¹⁾ Проф. Е. Е. Скорняков. Орошение и колонизация пустынь госуд. земель. Ч. II, стр. 123.

²⁾ А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 185.

3. От длины оросительной сети.
4. От скорости движения воды в каналах (следовательно, от уклона каналов).
5. От времени действия оросительной системы.
6. От характера живого сечения каналов.
7. От характера режима каналов.
8. От содержания взвешенных наносов в воде.

Нижеследующими рассуждениями подтвердим зависимость величины η от указанных условий.



Черт. 10. Направление фильтрации в оросительных каналах по А. Костякову.

1. Свойства грунтов. Инженер Мориц¹⁾ принимает, что в оросительных каналах:

1. Фильтрация наибольшая в дно канала.
 2. Фильтрация наименьшая в откосы канала.
 3. Для грунтов рыхлого строения фильтрация пропорциональна напору.
- Последнее определяется формулой:

$$W = kh^m, \quad (21)$$

где

W — количество воды, просачивающееся в почву (слой воды),

h — напор, под которым происходит просачивание,

m — показатель степени ($< 1,0$), характеризующий скорость просачивания,

k — коэффициент фильтрации почвы = количеству воды, просачивающемуся под напором $h = 1,0$ м.

Для плотных грунтов эта формула неприменима, ибо для них фильтрация происходит почти по преимуществу в силу других причин.

Инженер Мориц²⁾ предложил следующую формулу для определения величины фильтрации:

$$S = 0,0375 K_0 \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad \text{м}^3/\text{сек на 1 км}, \quad (22)$$

где

S — фильтрация в $\text{м}^3/\text{сек на км}$,

K_0 — коэффициент фильтрации $\text{м}/\text{сутки}$,

1) Инж. И. И. Знаменский. Бетонировка как один из способов сбережения воды в ирригационных каналах, стр. 11.

2) Проф. А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 215, с переводом в метр. меры.

Q — расход канала в $\text{м}^3/\text{сек}$,

V — скорость движения воды по каналу в $\text{м}/\text{сек}$.

Значение коэффициента K_0 различно для различных грунтов. По данным Л. Г. Карпентера (L. G. Carpenter), Е. А. Морица (E. A. Moritz) и Г. Барка (H. Barck)¹⁾, значение K_0 изменяется в следующих пределах (в метрических мерах):

ТАБЛИЦА 45.

П о ч в ы	Коэфф. K_0 — м/сутки		
	Карпентер	Мориц	Барк
Сцементир. очень плотная почва . .	—	0,107	—
Глина	0,076—0,107	0,124	—
Суглинок	0,107—0,152	0,201	0,152
Обыкн. почва	0,152—0,228	0,298	0,304
Супесок	0,228—0,304	0,365	0,456—0,608
Песчаная почва с камн.	0,304—0,532	0,511	0,603
Гравистая почва	0,608—1,520	0,669	0,760—1,520

Проф. Костяков в указанной работе на стр. 217 рекомендует принимать значения K_0 в следующих пределах:

ТАБЛИЦА 46.

П о ч в ы	м/сутки
Сцементир. очень плотная почва . . .	0,107
Глина	0,085—0,128
Суглинок	0,107—0,200
Обыкн. почва	0,149—0,298
Супесок	0,213—0,423
Песчаная почва с камнем	0,320—0,596
Гравистая почва	0,596—1,070

¹⁾ Проф. А. Н. Костяков. Указ. раб., стр. 217.

Фильтрация по Морицу в ‰ на 1 км определяется из следующей формулы¹⁾.

$$\sigma = \frac{3,75 K_0}{\sqrt{Q \cdot V}} \text{ ‰ на 1 км.} \quad (23)$$

Условия применения формулы Морица ограничены: а) для каналов с полуторными откосами; б) для каналов с отношением ширины по дну к глубине воды в канале равным не менее 4.

Таким образом этими условиями ограничены пределы применения формулы Морица.

Проф. А. Н. Костяков дает формулу, являющуюся развитием формулы Морица и связывающую величину фильтрации с видом живого сечения канала, с его пропускной способностью и с величиной напора:

$$\sigma = \frac{1,13 \cdot K_0 A}{\sqrt{Q^{0,5} V^{1,5}}} \text{ ‰ на 1 км,} \quad (24)$$

где

σ — потери на фильтрацию в ‰ на 1 км;

K_0 — коэффициент просачивания, равный слою воды в м/сутки под напором в 1 м;

$A = \frac{\alpha + 2\sqrt{1 + \varphi^2}}{(\alpha + \varphi)^{0,75}}$ — характеристика живого сечения канала.

$\alpha = \frac{b}{h} = \frac{\text{ширина канала по дну в м}}{\text{глубина воды в канале в м}};$

φ — заложение откосов канала (m — в другом обозначении);

m — показатель степени, зависящий от характера почвы и глубины просачивания воды и всегда имеющий значение меньше 1,0 (по данным Гидромодульной лаборатории — 0,15—0,28, по данным А. Е. Райт (А. Е. Wright) — 0,5; для данной формулы принимаем $m = 0,5$;

Q — расход канала в м³/сек;

V — скорость (средняя) движения воды в канале в м/сек.

В отличие от формулы Морица эта формула ставит величину потерь на фильтрацию в связь с:

- 1) характером и водными свойствами почвы,
- 2) характером и видом живого сечения,
- 3) глубиной слоя воды в канале.

При применении формулы (24) получаются несколько преувеличенные значения их, но это не будет влиять на точность подсчета, ибо преувеличенным значением потерь мы введем и потери от несовершенства действия гидротехнических сооружений.

¹⁾ Проф. А. Н. Костяков, Указ. раб., стр. 216.

Помимо этих двух основных формул, определяющих собой математическую зависимость между величиной потерь на фильтрацию и условиями режима канала и употребляемых при точных расчетах, А. Н. Костяковым, на основании сводок имеющихся данных о потерях ¹⁾, предложено 3 эмпирических зависимости потерь на фильтрацию в ‰ на 1 км от расхода канала, применяемых при приближенных определениях потерь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = \frac{10,2}{Q^{0,5}} \text{ ‰ на 1 км} \\ \sigma = \frac{4,6}{Q^{0,4}} \text{ ‰ на 1 км} \\ \sigma = \frac{1,4}{Q^{0,3}} \text{ ‰ на 1 км} \end{array} \right\} \text{ при } Q \text{ в м}^3/\text{сек.} \quad (25)$$

Наконец, ряд инженеров-практиков и ученых рекомендовали формулы ²⁾ для определения величины потерь на фильтрацию. Все эти формулы в русской практике проектирования оросительных систем мало прививались. Все же для исчерпания данного вопроса приведем некоторые из них:

I. Формула проф. Фридриха (Friedrich):

$$\sigma = 0,028 \left(\frac{a}{h} + b \right) \frac{1}{V} \text{ ‰ ‰ расхода на 1 км.} \quad (26)$$

II. Пенджабская, указываемая Белласисом (E. S. Bellasis):

$$S = 3,5 \sqrt{h} \frac{B}{1\,000\,000} \text{ фут}^3/\text{сек на 1 фут}^3. \quad (27)$$

III. Формула Бересфорда (I. S. Beresford):

$$S = A \cdot V^x \text{ фут}^3/\text{сек на 1 милю.} \quad (28)$$

IV. Канадская формула:

$$S = c \cdot B \cdot h \text{ фут}^3/\text{сек на 1 милю.} \quad (29)$$

В этих формулах:

a — коэффициент, зависящий от свойств почв и варьирующий в пределах от 0,0018 до 36 000,

b — коэффициент, зависящий от свойств и глубины слоя почв и варьирующий в пределах от 0,002 до 131 000,

V — средняя скорость движения воды в соответствующих единицах,

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. раб., стр. 210.

²⁾ Приводим их для простоты и ввиду малого употребления в старых (не метровых) обозначениях.

h — средняя глубина воды в канале,

B — ширина водной поверхности в канале,

A — потери на фильтрацию данного канала на первой миле его от головы,

l — длина канала в милях,

x — $5/6$ — $6/7$,

c — коэффициент, характеризующий свойства почвы (для песка = 0,020, для тяж. глины = 0,014).

II. Величина расхода и скорость движения воды в канале и характер живого сечения. Вышеприведенные формулы определяют собой зависимость величины потерь на фильтрацию (а следовательно и величины η) не только от свойств грунтов и почв, в коих проводится оросительная сеть, но и от значений расхода канала, средней скорости движения воды в нем и от характера живого сечения его. В соответствующих формулах эти зависимости определяются теми или иными членами этих формул. Для полной характеристики этих зависимостей потерь на фильтрацию в зависимости от величины расхода, от значений средней скорости движения воды в канале и от характера живого сечения, приводим нижеследующую таблицу.

Зависимость потерь на фильтрацию от расхода ¹⁾.

По определению проф. Фортне—528 наблюдений.

ТАБЛИЦА 47.

Расход в Q м ³ /сек	Число наблюд.	‰‰ потеря на фильтр. на 1,065 км.
< 0,028	16	17,1
0,028—0,14	37	13,5
0,14—0,28	30	7,8
0,28—0,70	49	8,1
0,70—1,40	48	3,7
1,40—2,10	31	2,9
2,10—2,80	26	1,8
2,80—5,60	45	1,2
5,60—22,40	87	0,8
22,40—84,00	14	0,67

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. раб., стр. 210—212.

Зависимость потерь на фильтрацию от средней скорости.

По данным П. Беле (P. Bailey)¹⁾, полученным на каналах систем Модесто и Тюрлок, эта зависимость рисуется в нижеследующей таблице:

ТАБЛИЦА 48.

Система.	Q м ³ /сек	V м/сек	Потери	
			м ³ /сек	м ³ /сек на 1,59 км
Модесто (35 км длины) . . .	1,23	0,31	0,45	,002
	2,15	0,38	0,25	0,011
	14,62	0,82	0,98	0,045
Тюрлок (29 км длины) . . .	1,96	0,37	0,83	0,045
	11,2	0,85	0,42	0,022
	24,22	1,07	0,85	0,045

Указанная таблица ясной зависимости между средней скоростью движения воды в канале и величиной потерь, устанавливаемой формулами Морица и А. Н. Костякова, не подтверждает, что объясняется влиянием характера сечений каналов (различных для разных категорий) и, главным образом, величиной расхода.

Зависимость потерь на фильтрацию от характера живого сечения.

Эта зависимость особенно резко выявляется, если принять живое сечение следующей характеристики:

$$b = 1,5h^2 + 1,5; \quad (30)$$

эта формула справедлива при:

b — ширина канала не $\leq 0,92$ м,

$\varphi = 2$ (заложение откосов канала),

$V = 0,61$ м/сек.

Тогда для различных расходов и различных его элементов величина потерь на фильтрацию по Ф. В. Ганна (F. W. Hanna) будет такова¹⁾:

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. раб., стр. 214.

ТАБЛИЦА 49.

Q м ³ /сек.	h м	b м	F м ²	P м	Потери на фильтрацию.	
					м ³ /сек.—1 км	‰—1 км
0,112	0,163	0,915	0,187	1,652	0,0055	5,0
0,280	0,305	0,915	0,465	2,280	0,0077	2,75
0,672	0,458	1,525	1,115	3,572	0,0129	1,92
1,344	0,610	2,440	2,230	5,169	0,0180	1,34
2,240	0,763	3,355	3,716	6,767	0,0232	1,03
3,528	0,915	3,965	5,853	8,656	0,0299	0,85

III. Длина оросительной сети. Зависимость между величиной η и потерями оросительной воды на фильтрацию определяется следующими формулами:

$$Q_{br} = Q_{nt} + a, \quad (31)$$

где

$$\left. \begin{array}{l} Q_{br} — \text{расход в голове} \\ Q_{nt} — \text{расход на поле} \\ a — \text{величина потерь} \end{array} \right\} \text{ в секундоходе;}$$

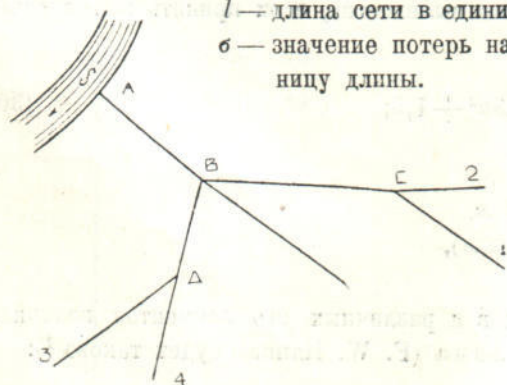
$$\frac{Q_{nt}}{Q_{br}} = \frac{Q_{nt}}{Q_{nt} + \Sigma \sigma l}, \quad (32)$$

где

$$\Sigma \sigma l — \text{потери в секундоходе на всей длине сети,} \quad (33)$$

l — длина сети в единицах,

σ — значение потерь на фильтрацию в секундоходе на единицу длины.



Эту формулировку можно заменить более детальным исчислением величины η с введением в формулу условий, определяющих значение η . Для этого разберем следующий пример:

Для указанной схемы оросительных каналов имеем следующие значения составных элементов:

Черт. 11. Расположение оросительной сети.

ТАБЛИЦА 50.

Канал	Расход потребл. канала	Длина канала	Величина потерь на единицу длины в ‰/‰	Величина потерь на длину в ‰/‰	Потери в секундо- токе	Расход пропуск. способн. канала
AB	Q_1	l_1	σ_1	$\sigma_1 l_1$	$\frac{\sigma_1 l_1 Q_1}{100}$	Q'_1
BC	Q_2	l_2	σ_2	$\sigma_2 l_2$	$\frac{\sigma_2 l_2 Q_2}{100}$	Q'_2
BD	Q_3	l_3	σ_3	$\sigma_3 l_3$	$\frac{\sigma_3 l_3 Q_3}{100}$	Q'_3
C_1	Q_4	l_4	σ_4	$\sigma_4 l_4$	$\frac{\sigma_4 l_4 Q_4}{100}$	Q'_4
C_2	Q_5	l_5	σ_5	$\sigma_5 l_5$	$\frac{\sigma_5 l_5 Q_5}{100}$	Q'_5
D_8	Q_6	l_6	σ_6	$\sigma_6 l_6$	$\frac{\sigma_6 l_6 Q_6}{100}$	Q'_6
D_4	Q_7	l_7	σ_7	$\sigma_7 l_7$	$\frac{\sigma_7 l_7 Q_7}{100}$	Q'_7

Далее, предположим, что одновременно работают точки сети 1, 2 и 3 (подается вода в эти пункты оросительной системы). Тогда имеем следующие равенства:

$$1) Q_1 = Q_4 + Q_5 + Q_6 = Q_2 + Q_6; \quad (34)$$

$$2) \Sigma \text{потерь} = \frac{\sigma_1 l_1 Q'_1}{100} + \frac{\sigma_2 l_2 Q'_2}{100} + \frac{\sigma_3 l_3 Q'_3}{100} + \frac{\sigma_4 l_4 Q'_4}{100} + \frac{\sigma_5 l_5 Q'_5}{100}; \quad (35)$$

$$3) \text{при условии } Q_4 = Q_5 = Q_6 = Q_7 = Q'_0. \quad (36)$$

$$4) \eta = \frac{3Q'_0}{3Q'_0 + \Sigma \text{потерь}}. \quad (37)$$

Называя Σ потерь через $\Sigma \frac{\sigma l Q'}{100}$, имеем:

$$\eta = \frac{3Q'_0}{3Q'_0 + \Sigma \frac{\sigma l Q'}{100}}. \quad (38)$$

Заменяя $3Q_0 + \Sigma \frac{\sigma l Q'}{100}$ через Q — расход подачи в голове системы (потребление + потери), мы имеем:

$$\eta = \frac{3Q'_0}{Q}. \quad (39)$$

Если имеем не 3, а n мест подачи воды, то получаем обобщающую формулу:

$$\eta = \frac{nQ'_0}{Q} \quad (40)$$

или

$$\eta = \frac{nQ'_0}{nQ'_0 + \Sigma \frac{\sigma l Q'}{100}}. \quad (41)$$

Заменяя nQ'_0 через Q_{nt} — расход потребления на орошаемом поле, мы получаем следующее значение η (коэффициента полезного действия системы):

$$\eta = \frac{Q_{nt}}{Q_{nt} + \Sigma \frac{\sigma l Q'}{100}}, \quad (42)$$

где

Q_{nt} — расход потребления на орошаемом поле,

σ — потери в % на единицу длины отдельных каналов оросительной сети,

l — длина оросительной сети (отдельных ее каналов),

Q' — расходы отдельных каналов оросительной сети, соответствующие их пропускной способности.

Следовательно, — коэффициент полезного действия оросительной системы есть отношение того расхода, который покрывает потребности в оросительной воде у орошаемых земель данной системы, к этому же расходу, увеличенному на сумму всех потерь оросительной воды на фильтрацию в каналах оросительной сети.

Из этой формулировки ясна зависимость η от длины каналов оросительной сети.

IV. Содержание наносов в оросительной воде и срок действия каналов. Оросительная вода, как мы видели раньше, часто содержит значительные количества взвешенных частиц — наносов. При движении своем по каналу в течение более или менее длительного периода эти наносы выпадают из воды, отлагаются на смоченной поверхности каналов и заполняют постепенно поры и отверстия грунтов, в которых проведены каналы. Чем богаче наносами оросительная вода, чем медленнее ее движение по каналам чем длительнее действие каналов, тем интенсивнее идет закупорка нано-

сами, содержащимися в воде, пор и отверстий грунтов — их кольматация. В силу этого уменьшение потерь на фильтрацию и повышение коэффициента полезного действия системы тем скорее, чем больше наносов в воде. Если мы вспомним, что $Q_{ni} = \omega q_0$, то формулу значения η мы сможем переписать несколько иначе:

$$\eta = \frac{q_0 \omega}{q_0 \omega + \sum \frac{\sigma l Q'}{100}} \quad (43)$$

Формулу (20) мы можем написать следующим образом:

$$Q_{br} = \frac{q_0 \omega}{\eta} = \frac{q_0 \omega}{\frac{q_0 \omega}{q_0 \omega + \sum \frac{\sigma l Q'}{100}}} = q_0 \omega + \sum \frac{\sigma l Q'}{100} \quad (44)$$

На протяжении более или менее длительного периода действия каналов оросительной сети могут изменяться лишь следующие величины:

q_0 — весьма мало (в идеальных условиях, при правильном орошаемом хозяйстве $q_0 = \text{постоян.}$) и

σ — значительно.

Таким образом изменение Q_{br} по годам какого-либо периода будет зависеть лишь от изменений σ , а следовательно, и от изменения величины η . Практически это изменение значительно, как показывает следующая таблица ¹⁾

ТАБЛИЦА 51.

Годы действия системы	Орошен. площадь в га	Расход в м³/сек на 1 га	Годы действия системы	Орошаем. площадь в га	Расход в м³/сек на 1 га
1898	2781	0,790	1901	6 045	0,665
1899	3433	0,734	1902	7 623	0,631
1900	4423	0,700	1904	12 928	0,415

V. Режим оросительной сети. Значение η выше для тех систем, каналы которых действуют постоянно. С другой стороны, системы с значительными колебаниями в их режиме, с значительными амплитудами колебаний в расходе отдельных каналов влекут за собой меньшее значение η , чем системы с плавными кривыми режима их каналов.

¹⁾ Сборник „Постановка и некоторые результаты исследований в С.-А. С. Шт.“. Перев. А. Н. Костякова, стр. 15.

Иногда для определения коэффициента полезного действия системы пользуются методами определения частных коэффициентов полезного действия — для отдельных категорий каналов. Получив эти частные значения и перемножив их между собой, определяют коэффициент полезного действия всей оросительной системы.

Для случая с $\eta_1 = 0,91$, $\eta_2 = 0,95$ и $\eta_3 = 0,97$

$$\eta_0 = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0,91 \times 0,95 \times 0,97 = 0,84.$$

Последний метод дает значения коэффициента полезного действия системы ближе к истинному, но вычисления его затруднительнее.

В заключение укажем на некоторые уточнения, которые возможно ввести в расчет для более точного определения η .

Из основной формулы значения коэффициента полезного действия оросительной системы ясно видно, что таковой на протяжении определенного периода изменяется. Изменяется он прежде всего в зависимости от изменений расхода — потребления. Так как расход потребления зависит от величины гидромодуля, то если мы в дополнение к трассе каналов оросительной сети будем иметь для этих каналов и график гидромодуля, то по его характеру можно судить об изменениях расхода потребления. Помимо этого — в зависимости от того, в каком количестве пунктов оросительной системы выпускается одновременно на поливные площадки оросительная вода, изменяется на протяжении данного периода путь, проходимый водой от головы оросительной системы до поля. В силу этих причин лучше всего определять значение η не среднее для избранного периода, а определять η для каждого изменения как расхода потребления, так и длины одновременно работающих каналов. Кроме того, в силу затруднительности определения η для таких периодов, возможно упростить задачу — определять коэффициент полезного действия системы для четырех моментов:

1. Наибольший расход + наименьшая длина сети.
2. " " + наибольшая " "
3. Наименьший " + " " "
4. " " + наименьшая " "

Если назвать соответственно четырем условиям работы сети коэффициенты полезного действия системы через η_1 , η_2 , η_3 и η_4 , то их значения будут характеризоваться следующим неравенством:

$$\eta_1 > \eta_2 > \eta_3 > \eta_4. \quad (45)$$

Наименьшее значение η будет в 4-м случае, а наибольшее — в 1-м. Расчет каналов сети нужно в этом случае вести, применяя коэффициент полезного действия системы для 4-го случая. Наконец необходимо указать, что пропускная способность (или расход, соответствующий пропускной способности) каналов определяется из размеров поливной струи (см. ниже).

Г. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОЛИВНОЙ СТРУИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕСТЕСТВЕННО-ИСТОРИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ПОСТРОЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТРАССЫ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.

Основной целью орошения является перевод воды из состояния тока в состояние почвенной влажности. Обычно орошаемое поле находится в большем или меньшем расстоянии от источника орошения. Поэтому для выполнения задачи создания той или иной почвенной влажности необходимо иметь в оросительной системы две группы сооружений: 1) транспортирующую и 2) регулирующую. Вторая группа сооружений состоит по преимуществу из каналов (мелких), канавок, бороздок и валиков большей или меньшей величины. Все оросительные системы можно классифицировать по способам каптирования (взятия) воды из источника орошения. С другой стороны, при данном способе каптирования воды само распределение оросительной воды по орошаемому полю может быть различным в зависимости от естественно-исторических, хозяйственных и бытовых условий. Если первое — каптирование и подведение воды к орошаемому полю — производится первой группой сооружений оросительной системы, то вторая группа сооружений выполняет задачу перевода воды из состояния тока в состояние почвенной влажности. Эта вторая задача может быть названа способом полива. Выполнение этой второй задачи может быть достигнуто различными способами в зависимости от тех или иных естественно-исторических, хозяйственных и бытовых условий. Основное стремление в задаче перевода воды из состояния тока в состояние почвенной влажности — создать оптимальную почвенную влажность в наименьший период времени. Первое — создание оптимальной почвенной влажности — может зависеть от характера почв, характера растительности и хозяйственной обстановки (вид растения, вид обработки орошаемого поля), второе — возможно быстрое достижение оптимальной почвенной влажности — может зависеть от хозяйственной и природной обстановки и от некоторых естественно-исторических условий. Во всяком случае в зависимости от комбинации этих условий возможно наметить различные способы скорейшего и наилучшего достижения основной задачи — наметить различные *способы полива*.

В оросительной литературе известно много способов полива — напуском, полосами, по бороздкам, по гребням, по джоякам, инфильтрацией, бассейнами, чеками, затоплением, по чашкам, подземной инфильтрацией и т. п. Такое количество различных наименований объясняется, с одной стороны, отсутствием в прежней литературе математики этого вопроса, а с другой стороны — введением в язык техники понятий местного значения. В существе же, как это сделано А. Н. Костяковым¹⁾, все основные, отличающиеся друг от друга соотношением основных факторов способы полива можно подразделить по двум признакам:

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 45.

- 1) направления поступления воды в почву,
- 2) по соотношению между скоростями движения воды по орошаемому полю и просачивания воды в почву.

Растение, способ обработки, бытовые условия — это все в меньшей степени влияет на выбор того или иного способа полива.

Поэтому применительно к этим признакам наиболее употребительные способы полива разбиваются на следующие четырех основных категорий.

Продольный профиль
поливной площадки при способе полива напуском



Профиль поперек гребней при способе полива по гребням

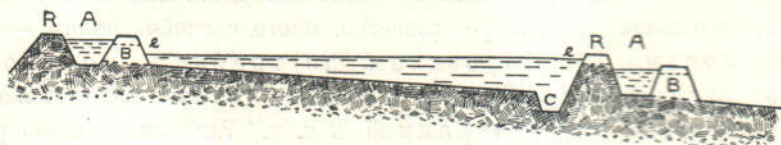


Черт. 12. Продольный профиль поливной площадки при способе полива напуском и профиль поперек гребней при способе полива по гребням.

I категория. 1. Направление поступления воды в почву — вертикальное.

2. Малый напор. Скорости движения воды по орошаемому полю и просачивания воды в почву уравновешены, и отношение между ними невелико.

Сюда можно отнести способ полива напуском в его видоизменениях — сплошным слоем, по гребням, отдельными струями, полосами.

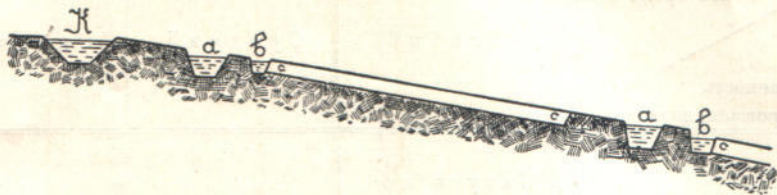


Черт. 13. Продольный профиль поливной площадки при способе полива затоплением.

II категория. 1. Направление поступления воды в почву — вертикальное.

2. Большой напор. Скорости движения воды по орошаемому полю и просачивания воды в почву неуравновешены, и отношение между ними велико.

Сюда нужно отнести способ полива затоплением в его видоизменениях — бассейны, лиманы, реки.



Черт. 14. Продольный профиль поливной площадки при способе полива по бороздкам.

III категория. 1. Направление поступления воды в почву — боковое.

2. Малый напор. Скорости движения воды по орошаемому полю и просачивания воды в почву уравновешены, и отношение их невелико.

Сюда нужно отнести способ полива по бороздкам в его видоизменениях — чистые бороздки, инфильтрацией, чашками.

IV категория. 1. Направление поступления воды в почву — боковое.

2. Большой напор. Скорости движения воды по орошаемому полю и просачивания воды в почву неуравновешены, и отношение их велико.

Сюда нужно отнести способы полива — по дюжкам, подпочвенная инфильтрация.

Следовательно первый и третий способы полива производятся при поливе движущейся струей воды, а второй и четвертый — стоячей водой.



Черт. 15. План поливной площадки при способе полива по дюжкам.

Эта классификация позволяет нам наметить тот или иной способ полива в зависимости от гидравлических условий. Посмотрим теперь, как подразделяются поименованные способы полива в зависимости от уклона орошаемой площади и от свойств почв, главным образом, от степени проницаемости их. Подразделим проницаемость и уклон орошаемого поля на 3 типа — слабый, средний, сильный. Тогда получим 9 типов орошаемого поля, различающихся характером уклона и проницаемости. Каждому типу орошаемого поля будут соответствовать свой способ полива, как это видно из следующей таблицы (см. табл. 52 на стр. 88).

Изложенного вполне достаточно для того, чтоб ориентироваться в выборе способа полива при проектировании оросительной системы. Можно еще

ТАБЛИЦА 52.

Уклон орош. поля Проницаемость почвы орошаем. поля	Слабый	Средний	Сильный
Слабая	Напуск по гребням Борозды	Борозды	Джояки
Средняя	Затопление— бассейны Чашки	Борозды	Напуск—по- лосы
Сильная	Напуск—струи Затопление— лиманы Инфильтра- ция	Напуск—по- лосы Затопл.—чеки	Напуск сплош- ным слоем Подпочвенная инфл.

указать цифровые значения уклонов, при которых применяется тот или иной способ (группа способов) полива.

По данным А. Н. Костякова ¹⁾ при уклоне орошаемого поля:

1. Не $\leq 0,01$ применяется способ полива *сплошным слоем*. Лучше всего применять этот способ при уклонах 0,03—0,05.

2. 0,002—0,004 — *струями*.

3. 0,002—0,005 — *по бороздкам*.

4. Не $> 0,002$ (лучше всего при уклонах 0,0003 — 0,0006) — *затопление*. В редких случаях применяют способ затопления при уклонах до 0,01.

Таким образом самый способ полива связан также с характером орошаемого поля. Способ полива определяет также и величину той поливной струи p (поливного расхода, поливного модуля), с помощью которой вода выводится из канала последней категории на орошаемом поле. Зависимость между способом полива и размерами и конфигурацией определяется некоторыми формулами, различными для различных способов полива. Обозначим через p — поливную струю, через l — длину поливной площадки, через b — ширину поливной площадки, тогда для всех видоизменений

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 46, 63 и 80.

способа полива напуском три указанные выше величины будут связаны следующими формулами ¹⁾:

$$1. \quad p = bch^2. \quad (46)$$

$$2. \quad h = \sqrt[n]{\frac{100 \cdot k \cdot m \cdot x}{2 \cdot \beta \cdot c}}. \quad (47)$$

$$3. \quad x = \frac{n}{m} \cdot \frac{\beta \cdot l}{100}, \quad (48)$$

где

p — поливная струя м³/сек,

b — ширина площадки м,

$c = 54 \sqrt{i}$, где i — уклон орош. поля,

h — толщина слоя воды на орошаемом поле м,

$h = 2 - m$,

m — показатель степени просачивания (см. формулу 21),

k — коэффициент просачивания м/сек,

l — длина площадки м,

x — расстояние между горизонт. или наклонными канавками м,

β — предел разности поглощения влаги в почве у верхней и нижней горизонт. или наклонной канавок.

В этих трех уравнениях величины c , n , m , k , β обычно являются данными; величины b и x определяются опытностью поливающего и задаются равными 25,0—40,0 м для b и 25,0—30,0 м для x ; что касается величин p , h и l , то таковые определяются из приведенных трех уравнений.

Для способа полива по бороздкам взаимоотношения между поливной струей, длиной площадки, глубиной бороздки и числом бороздок на поливной площадке определяются (для случая разделения всей поливной площадки на ряд мелких площадок, обслуживаемых одной горизонтальной канавкой и для случая использования сброса с вышележащей площадки на полив нижележащей площадки, что чаще всего в практике и встречается) нижеследующими формулами ²⁾:

$$1. \quad h = \sqrt[n]{\frac{k \cdot n \cdot x}{1,4 \cdot c \cdot \left[1 - \left(\frac{\gamma}{100} \right)^{\frac{n}{2}} \right]}} \text{ м}. \quad (49)$$

$$2. \quad x = 0,014 \cdot \beta \cdot \frac{ch^n}{k} \cdot \frac{b_0}{\partial h + mb_0}. \quad (50)$$

$$3. \quad p = N \cdot c \cdot \xi \cdot h^2 (b_0 + \varphi h), \quad (51)$$

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 52, 55 и 57.

²⁾ А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 70, 74.

где:

h — глубина воды в бороздке в м,

k — коэффициент просачивания м/сек,

x — расстояние между двумя горизонтальными бороздками м,

$c = 50 \sqrt{i}$, где i — уклон площадки,

γ — процент стока от подачи в начале бороздки,

β — то же, что и для полива напуском,

b_0 — ширина бороздки по дну в м,

$$\theta = \frac{4}{3} \sqrt{1 + \varphi^2},$$

φ — заложение откосов бороздки,

m — степень просачивания воды в почву $\approx 0,5$,

$n = 2 - m$,

$N = \frac{b}{b_0 + a}$ — число бороздок на площадке шириной b м и расстоянием между бороздками a м,

$$\xi = \sqrt{\frac{\alpha + \varphi}{\alpha + 2 \sqrt{1 + \varphi^2}}}, \quad \text{где } \alpha = 0,8.$$

Величины k , n , m , φ , α , θ , ξ , c для данных естественно-исторических условий полива известны; величинами γ , β , b и x обычно задаются, при чем две последние величины, как будет изложено ниже, выбирают с таким расчетом, чтоб $b = \frac{1}{2} \cdot x$. Что же касается величин h и p , то они получаются в результате разрешения соответствующих формул.

Что касается зависимости между размерами поливной струи, поливной площадки и прочими элементами полива при остальных способах полива, то теория этих способов полива недостаточно разработана, поэтому, признавая также за способами полива напуском и по бороздкам известную универсальность как в смысле почв и рельефов, так и в смысле хозяйственных условий, мы не приводим для остальных способов полива соответствующих формул. Отмечаем также то обстоятельство, что, пока не разработана теория поливов затоплением, по джоякам и др., приходится, при применении этих способов полива, значения p , величины поливной площадки принимать таковыми, каковыми их принимает для этих способов полива практика и опыт оросительных хозяйств.

Ввиду отсутствия формул для некоторых способов полива, приведем некоторые данные о величине поливной струи, размерах и измерениях поливных площадок, применяемых на опыте в условиях существующих орошаемых хозяйств (см. табл. 53 на стр. 91).

Мы уже отмечали, что размер поливной струи и размеры поливных площадок связаны между собой определенными естественно-историческими и хозяйственно-бытовыми условиями. Помимо этого существует связь между

ТАБЛИЦА 53.

Способ полива	Величина поливной струи в м/сек	Размеры поливной площадки	
		Длина	Ширина
		М е т р.	
Напуском	20—45 ¹⁾	25,0—30,0	25,0—40,0
Бороздки	18—40 (31,0—94,0) ²⁾	64,0—128,0—213,0	{ зависит от хоз. соображений.
Затоплением	57,0—283,0 ¹⁾ (142,0)	21,0—26,0	32,0—53,0
Джояки	20,0—30,0	43,0—75,0	наименьш. 11,0—17,0

поливной нормой (m), поливной струей (p), величиной поливной площадки (μ) и продолжительностью полива 1 десятины (z). Эти 4 величины связаны между собой следующей формулой:

$$\mu = 3600 \frac{pz}{m} \text{ га}, \quad (52)$$

где

μ — площадь поливной площадки в га,

m — поливная норма в м³/сек,

p — поливная струя м³/сек,

z — продолжительность полива площадки в часах.

Необходимо подчеркнуть, что из четырех величин величина z является весьма важной для установления порядка получения отдельными хозяйственными орошаемыми единицами оросительной воды; величина же p определяет собой величину наименьшей площади, которую ей возможно оросить при введении определенного порядка в получении оросительной воды отдельными хозяйственными единицами. Установив режим канала в виде графика периодического гидромодуля, определив величину потерь на единицу длины каналов различных категорий, получив величину поливной единицы, мы должны наметить трассу (положение) оросительной сети и установить в пределах этой сети порядок получения каждой поливной площадкой оросительной воды — порядок водопользования в данной оросительной системе.

Подсчет коэффициента полезного действия системы, сделанный нами несколько выше, обычно производится после нанесения трассы оросительной сети.

Перед тем как приступить к установлению положения каналов оросительной сети на плане орошаемой местности, мы должны разбить всю оро-

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. работа, соответствующие разделы.

²⁾ Б. С. Арканов. Материалы по водопользованию в Туркестанском крае, 1914 г.

шаемую площадь на отдельные площади, могущие быть орошенными одной поливной единицей, — *водопользовательные единицы*. Обычно эти площади называются *околотками*. Соединения нескольких околотков достигаются проведением из главного (магистрального) канала особых групповых каналов-распределителей, подающих воду на *группу* околотков. Что касается околотков, то таковые, исходя из условий хозяйственной необходимости и удобства, подразделяются на хозяйственные единицы — *наделы*. Каждая из указанных единиц снабжается водой с помощью отдельных каналов.

Вся орошаемая площадь — *магистральный канал*.

Группа околотков — *групповой распределитель*.

Околоток — *околотковый распределитель*.

Надел — *надельный распределитель* — *ороситель*.

Величина водопользовательной единицы определяет собой ту площадь, которую возможно оросить расходом, равным поливной струе при данном гидромодуле. Формулировка для нее такова ¹⁾:

$$\Omega = \frac{p}{q_0}; \quad (53)$$

Ω — величина водопользовательной единицы в га,

p — поливная струя ($\text{м}^3/\text{сек}$),

q_0 — периодический гидромодуль (ордината графика гидромодуля) в $\text{м}^3/\text{сек}$ на 1 га.

Таким образом, чем больше величина гидромодуля (чем больше норма полива, чем больший % площади под поливаемыми в данный момент культурами, чем меньше период полива), тем меньше должен быть околоток; чем больше принята (или подсчитана), поливная струя, тем больше должен быть по площади околоток. Так как величина водопользовательной единицы зависит от значения периодического гидромодуля, а этот последний на протяжении оросительного периода меняется от минимума до максимума, то величина водопользовательной единицы, при условии постоянства поливной струи, есть величина переменная, изменяющаяся от наибольшей величины (при q_0 — наименьшей) до наименьшей величины (при q_0 — наибольшей). Следовательно правильное было бы при проектировании оросительной сети иметь различную площадь водопользовательной единицы. Но ввиду того, что водопользовательная единица есть площадь, реально существующая на орошаемой площади, связанная с определенной сетью каналов, то, изменяя на протяжении оросительного периода величину Ω , мы должны будем менять и самое расположение сети. Этого выполнить нельзя, поэтому обычно принимают Ω равновеликой площади, могущей быть орошенной поливной струей при условии q_0 — наибольшей, т. е. для расчета берут Ω — наименьшее, в остальные же дни оросительного периода, когда q_0 отклоняется от наи-

1) А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 127.

большого значения, величина площади, которую при данном q_0 можно оросить величиной p , будет больше, чем величина Ω . Следовательно будет получаться некоторый избыток оросительной воды, сбрасываемой обычно в сбросную сеть.

Из сказанного ясно, что канал, подающий воду на 1 околоток, будет иметь расход в голове:

$$Q'_{br} = p + a, \quad (54)$$

где

Q'_{br} — расход в голове канала,

p — поливная струя,

a — некоторая доля расхода, потребная на пополнение потерь.

Групповой канал (при условии максимальной своей пропускной способности — когда с помощью его необходимо подавать одновременно воду во все околотки) будет иметь расход в голове (при n околотковых распределителей),

$$Q''_{br} = n(p + a). \quad (55)$$

И, наконец, магистральный канал при N групповых распределителях будет иметь в голове расход, равный

$$Q'''_{br} = N \cdot n(p + a) \quad (56)$$

при условии равенства групп.

Если $a = 0$ (т.-е. или потерь нет или необходимо определить расход у орошаемого поля — Q_{nt}), то три указанные формулы сведутся к следующим:

$$Q'_{nt} = p \quad (57)$$

для околотка,

$$Q''_{nt} = n \cdot p \quad (58)$$

для группы,

$$Q'''_{nt} = N \cdot n \cdot p \quad (59)$$

для всей системы.

Отсюда ясно определение числа околотков в группе и в системе:

$$n = \frac{Q''_{nt}}{p}, \quad (60)$$

$$N = \frac{Q'''_{nt}}{Q''_{nt}}. \quad (61)$$

Заменяя p через Ωq_0 , получаем:

$$Q'_{nt} = \Omega \cdot q_0, \quad (62)$$

$$Q''_{nt} = n \cdot \Omega \cdot q_0, \quad (63)$$

$$Q'''_{nt} = N \cdot n \cdot \Omega \cdot q_0. \quad (64)$$

Зная числа n и N , мы можем определить расходы в голове магистрали и каждого группового распределителя.

Наконец, зная периодический наибольший гидромодуль, поливную струю и число околотов в группе и групп во всей системе, мы можем определить расходы соответствующих каналов и площадь, ими орошаемую. Чаще задача стоит другая: известны q_0 , p , ω , необходимо определить число околотов в системе. При трассировке сети групповые каналы определяются, главным образом, рельефом местности, поэтому рельефом задаются значения ω_{ip} (обычно неравные), а тогда возможно решить и остальную часть задачи — число n , ибо N определяется рельефом. Для примера возьмем $\omega = 6000$ *иа*.

$$q_0 = 0,5 \text{ л/сек}, N = 4,$$

$$p = 30 \text{ л/сек}, \omega'_{ip} = 1800 \text{ иа};$$

тогда

$$\omega''_{ip} = 2400 \text{ иа},$$

$$\Omega = \frac{30}{0,5} = 60 \text{ иа}, \omega'''_{ip} = 1200 \text{ иа},$$

$$\omega''''_{ip} = 600 \text{ иа}.$$

$$Nn = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = \frac{6000}{60} = 100,$$

$$n_1 = \frac{\omega'_{ip}}{\Omega} = \frac{1800}{60} = 30,$$

$$n_2 = \frac{\omega''_{ip}}{\Omega} = \frac{2400}{60} = 40,$$

$$n_3 = \frac{\omega'''_{ip}}{\Omega} = \frac{1200}{60} = 20,$$

$$n_4 = \frac{\omega''''_{ip}}{\Omega} = \frac{600}{60} = 10;$$

наконец расходы:

$$Q_{ok} = p = 30 \text{ л/сек},$$

$$Q_{ip} = n_1 \cdot p = 30 \cdot 30 = 900 \text{ л/сек},$$

$$Q'_{ip} = n_2 \cdot p = 40 \cdot 30 = 1200 \text{ л/сек},$$

$$Q''_{ip} = n_3 \cdot p = 20 \cdot 30 = 600 \text{ л/сек},$$

$$Q'''_{ip} = n_4 \cdot p = 10 \cdot 30 = 300 \text{ л/сек},$$

$$Q_{\text{мф}} = N \cdot n \cdot p = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4)p = 3000 \text{ л/сек}.$$

В заключение укажем на то, что надел есть единица хозяйственная, определяющая собой исключительно земельные отношения и экономику орошаемого хозяйства. Величина надела определяется только следующими хозяйственными соображениями:

1. Той земельной нормой, которая определяется существующими законоположениями на одного землепользователя.
2. Средним составом семьи землепользователя.
3. Принятой для данного района системой хозяйства.
4. Количеством рабочей силы в семье.

Для условий коллективного хозяйства, для условий эксплуатации государственного земельного фонда возможно, при определении величины надела, руководствоваться преимущественно соображениями рационального построения хозяйства. Обычно в последнем случае размер надела или совпадает с площадью поля севооборота или является кратным площади поля севооборота.

Трассировка сети выполняется при условиях:

1. Применимости к рельефу местности — соблюдение возможно больших уклонов, но не требующих особых сооружений для нейтрализации влияния излишне больших скоростей на грунты, в которых проведены каналы.
2. Наименьшей длины сети — наименьшие потери на фильтрацию.
3. Наименьшего количества земляных работ.

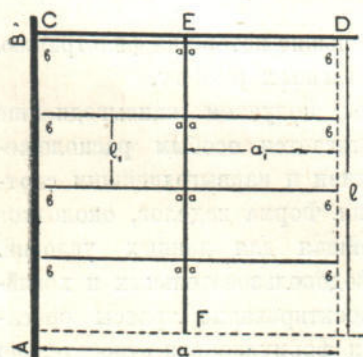
При соблюдении указанных условий мы получаем наивыгоднейше запроектированную оросительную сеть. Это достигается особым расположением водопользовательных и хозяйственных единиц и наивыгоднейшим соотношением между отдельными измерениями единиц. Форма наделов, околотков и групп может быть подобрана наивыгоднейшая для данных условий. В подборе наивыгоднейших размеров и форм водопользовательных и хозяйственных единиц и заключается правильное проектирование трассы оросительной сети. Но излагаемые ниже положения и формулировки относительно трассировки сети не должны быть незыблемыми математическими выводами: там, где принимают участие климатические и экономические факторы зачастую нельзя все свести к решению математических формулировок — ими нужно пользоваться, как придержками для создания рационально-запроектированных оросительных систем, и уметь увязывать требования природной и экономической обстановки с мертвыми формулами математики. Поэтому эти формулы хороши для ориентировки, но результаты, полученные при разрешении их, нужно увязывать с жизнью. Только в этом случае может быть получена идеальная, с точки зрения динамики орошаемого хозяйства, оросительная система.

Каким требованиям должна отвечать рационально запроектированная оросительная сеть? Она должна быть „...так построена, чтобы... правильно, своевременно и в нужном количестве удовлетворять все требования на воду в различных частях си-

стемы¹⁾. Так возможно формулировать те требования, которые предъявляются к рационально запроектированной оросительной сети. Задача трудная, осложняемая тем многообразием, которое встречается в природных и хозяйственных условиях существования оросительной сети. Но, соблюдая определенные взаимоотношения между отдельными элементами системы, выполнив в натуре трассу сети с известной закономерностью, мы можем решить эту задачу удовлетворительно в пределах реальной точности. Главным образом необходимо расположить оросительную сеть таким образом, чтобы общая длина каналов ее (а следовательно и величина потерь на фильтрацию в них) была наименьшая при прочих равных условиях.

Такое расположение каналов оросительной сети зависит прежде всего от рельефа. На основании аналитических выкладок проф. А. Н. Костякова расположение околотков и наделов, а следовательно и каналов околотка и надела, может быть подразделено в зависимости от рельефа местности на следующие группы:

Для внутриоколотковой сети:



Черт. 16. Расположение внутриоколотковой сети при слабом уклоне.

I. Тип рельефа — слабые уклоны орошаемой площади.

n — число внутриоколотковых распределителей,

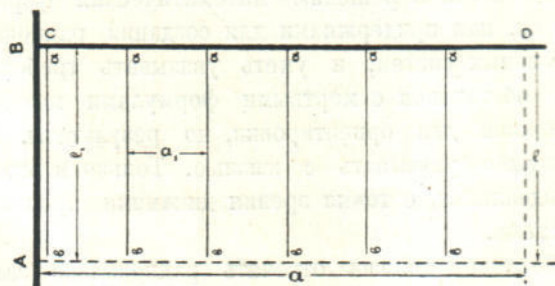
F — площадь надела,

ω_0 — площадь околотка,

$$a = n\sqrt{2F} \text{ — ширина околотка; } (65)$$

обычно $n = 1$, тогда

$$\begin{cases} a = \sqrt{2F} \text{ — ширина околотка,} \\ l = \frac{\omega_0}{\sqrt{2F}} \text{ — длина околотка.} \end{cases} (66)$$



Черт. 17. Расположение внутриоколотковой сети при крутых уклонах.

1) А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 225.

II. Тип рельефа — крутые уклоны орошаемой площади.

$$n = \frac{\omega_0}{F}. \quad (67)$$

Одностороннее распределение наделов:

$$\begin{cases} a = \frac{\omega_0}{F} \sqrt{F} = \frac{\omega_0}{\sqrt{F}}, \\ l = \sqrt{F}; \end{cases} \quad (68)$$

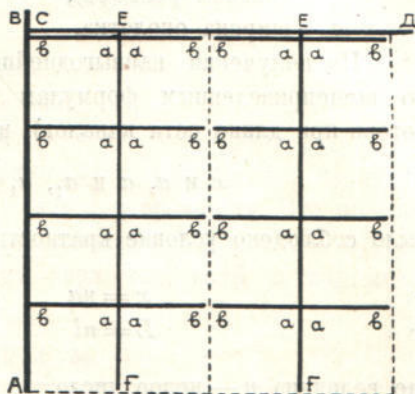
Обозначения, как в случае I.

III. Тип рельефа — средние уклоны орошаемой площади. Двустороннее расположение наделов:

$$\begin{cases} a = n\sqrt{2F}, \\ l = \frac{\omega_0}{n\sqrt{2F}}; \end{cases} \quad (69)$$

при распределении наделов одностороннем:

$$\begin{cases} a = n\sqrt{F} \\ l = \frac{\omega_0}{n\sqrt{F}} \end{cases} \quad (70)$$



Черт. 18. Расположение внутриколотковой сети при средних уклонах.

Обозначения, как в случае I.

Расположение *внутринадельной* сети.

Называя через:

n_1 — число *внутринадельных* оросителей,

a_1 — ширина надела,

l_1 — длина надела,

F — площадь надела,

b — ширина поливной площади,

l_2 — длина поливной площади,

π — площадь поливной площадки,

для расположения *внутринадельной* сети, общего для всех трех типов рельефа, имеем следующие формулы:

$$a_1 = n_1 \sqrt{2\pi}; \quad l_1 = \frac{F}{n_1 \sqrt{2\pi}} \text{ — двустороннее расположение,} \quad (71)$$

$$a_1 = l_1 = \sqrt{F} \text{ — одностороннее расположение;} \quad (72)$$

$$\pi = b l_2, \text{ при чем } b = \frac{l_2}{2}. \quad (72a)$$

Что касается расположения *групповых распределителей*, то наиболее выгодное расположение их, с точки зрения минимума потерь и экономичности, будет определяться следующей формулой:

$$x = \sqrt{\frac{2L\omega_0}{a}}, \quad (73)$$

где

x — расстояние между групповыми распределителями,

ω_0 — площадь околотка,

L — длина группового распределителя и длина группы (при правильном рельефе),

a — ширина околотка.

По получении наиболее выгодных размеров групп, околотков, наделов по вышеприведенным формулам (полученным из условия минимальности потерь при длине сети каналов), необходимо, чтобы между

$$x \text{ и } a, a \text{ и } a_1, a_1 \text{ и } b, L \text{ и } l, l \text{ и } l_1, l_1 \text{ и } l_2$$

было соблюдено условие кратности:

$$\begin{array}{lll} x = na & a = na_1 & a_1 = nb \\ L = nl & l = nl_1 & l_1 = nl_2 \end{array} \quad (74)$$

где величина n — целое число.

Определив поливную струю, наметив трассу оросительной сети, установив потери и вычислив коэффициент полезного действия как отдельных каналов, так и всей сети в целом, необходимо установить *порядок водопользования* — порядок, по которому будут получать отдельные водопользовательские единицы оросительную воду. Эта задача является особенно важной в связи с тем, что, благодаря установлению известного порядка получения воды отдельными водопользовательскими единицами системы, мы усилим экономичность оросительной системы, уменьшим стоимость ее и уменьшим расходы воды на покрытие потерь. Начав разрешать эту задачу в рациональной трассировке сети, мы еще более рационализируем ее, если путем создания очередности в получении оросительной воды уменьшим расходы каналов и тем самым уменьшим абсолютное количество потерь на фильтрацию. Установление очередности в получении воды даст возможность уменьшить и утечки ее, бесполезные для орошаемого поля, ибо возможно достигнуть точной дозировки воды. Установление очередности даст возможность точной регламентации прав отдельных водопользователей на воду, снизит расход по обслуживанию системы, — короче говоря, сделает оросительную систему еще более экономичной и рентабельной.

В зависимости от количеств воды, имеющихся в источнике орошения, от величины орошаемой площади в данной оросительной системе может быть два случая.

1. Воды всегда имеется в достаточном количестве.

2. Воды не хватает для орошения всей площади.

В первом случае возможно запроектировать так оросительную систему, что вода по каналам будет подаваться в любом количестве и в любое время для всех водопользователей одновременно.

Во втором случае необходимо некоторый возможно максимальный расход давать не всем сразу водопользователям, а в известном порядке частями для некоторых групп водопользователей — создавать *очередь* в получении оросительной воды отдельными водопользователями.

В первом случае возможно подавать воду отдельным водопользователям непрерывно или же давать ее по их требованию. Таким образом возможны три типа водопользования:

1. Водопользование *непрерывное*.

2. Водопользование *по требованию*.

3. Водопользование *очередное*.

Последний тип водопользования может быть подразделен на группы, в зависимости от того, где будет выполняться очередность. Это подразделение и выполнено в табл. 54. Таблица составлена для случаев очередей на канале данной категории, на каналах двух категорий, и на каналах всех категорий.

ТАБЛИЦА 54.

Наименование типа водопользов.	Каналы №№ водоп.	Наименования каналов			
		Магистр.	Группов.	Околот.	Надельн.
		Получают воду в порядке			
Одноочередной	1.	пост.	пост.	пост.	очер.
	2	пост.	пост.	очер.	пост.
	3	пост.	очер.	пост.	пост.
Двухочередной	1	пост.	пост.	очер.	очер.
	2	пост.	очер.	очер.	пост.
	3	пост.	очер.	пост.	очер.
Трехочередной	1	пост.	очер.	очер.	очер.

Задавшись по тем или иным соображениям наивыгоднейшим при данных условиях порядком водопользования, мы должны принять во внимание данные о потерях, расходах брутто, установить в табличной или графической форме порядок дачи воды отдельным водопользовательным и хозяйственным единицам.

Табличный материал будет заключаться в ведомости ежедневно поливаемых площадей; графический материал представляется одной или несколькими диаграммами водопользования.

Вопрос построения диаграммы водопользования разработан проф. А. Н. Костяковым в его работе — „Диаграммы водопользования (метод построения их) — изд. 1918 г. выпуск II Материалов Гидромульной Части“. Отсылая интересующихся методом построения диаграммы водопользования к этой работе, приведем пример диаграммы водопользования для следующих конкретных условий:

Т А Б Л И Ц А 55.

Нормы и сроки поливов.

‰ под культур.	I полив		II полив		III полив		IV полив	
	м ³	От — до дней	м ³	От — до дней	м ³	От — до дней	м ³	От — до дней
Хлопчат. 50	1 000	15/IV—6/V 25	1 000	1/IV—21/VI 20	1 000	1/VII—31/VII 30	1 000	16/VIII—31/VIII 15
Люцерна 30	1 250	6/V—22/V 15	1 250	21/VI—16/VII 25	1 250	1/VIII—16/VIII 15	—	—
Злаки 20	1 000	6/V—1/VI 20	1 000	1/VII—21/VII 20	—	—	—	—

Величину периодического гидромуля определим из формулы:

$$q_0 = \frac{1\,000 \cdot m}{t \cdot 86\,400} \text{ л/сек,} \quad (75)$$

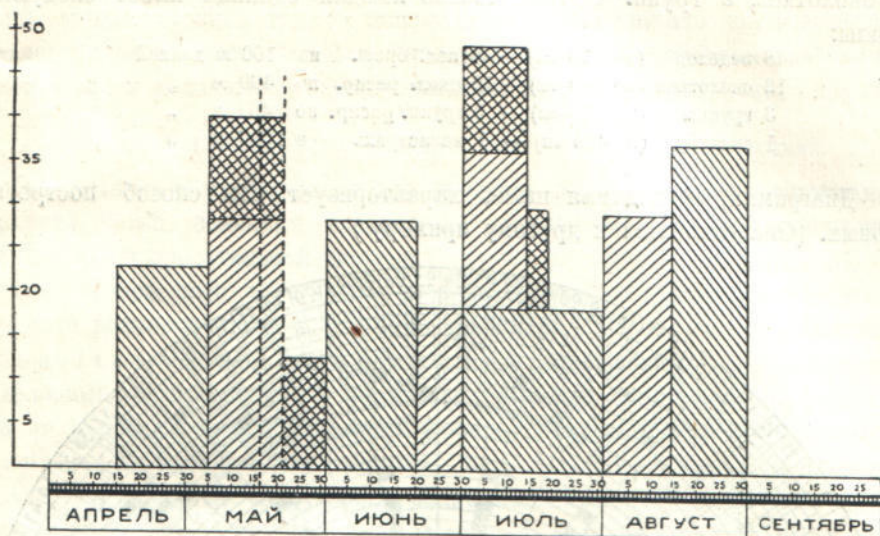
где обозначения те же, что и в форм. 14.

Т А Б Л И Ц А 56.

Величина гидромуля.

Орошаемые культуры	‰ под культ.	Г и д р о м о д у л ь л/сек			
		I полив	II полив	III полив	IV полив
Хлопчатник	50	0,23	0,29	0,19	0,38
Люцерна	30	0,29	0,18	0,29	—
Злаки	20	0,12	0,12	—	—

На основании этих двух таблиц построим график гидромодуля.



ОБОЗНАЧЕНИЯ	КУЛЬТУРЫ	%% ПОД ПОЛИВ	ГИДРОМОДУЛЬ			
			I	II	III	IV
	ХЛОПЧАТНИК	50	0.23	0.29	0.19	0.38
	ЛЮЦЕРНА	30	0.29	0.18	0.29	-
	ЗЛАКИ	20	0.12	0.12	-	-

Черт. 19. График периодического поливного гидромодуля потребления.

Для построения диаграммы возьмем период в 10 дней — 1/VII — 10/VII. В этот период поливаются культуры — люцерна и злаки. Оросительная сеть изображена в следующей схеме:

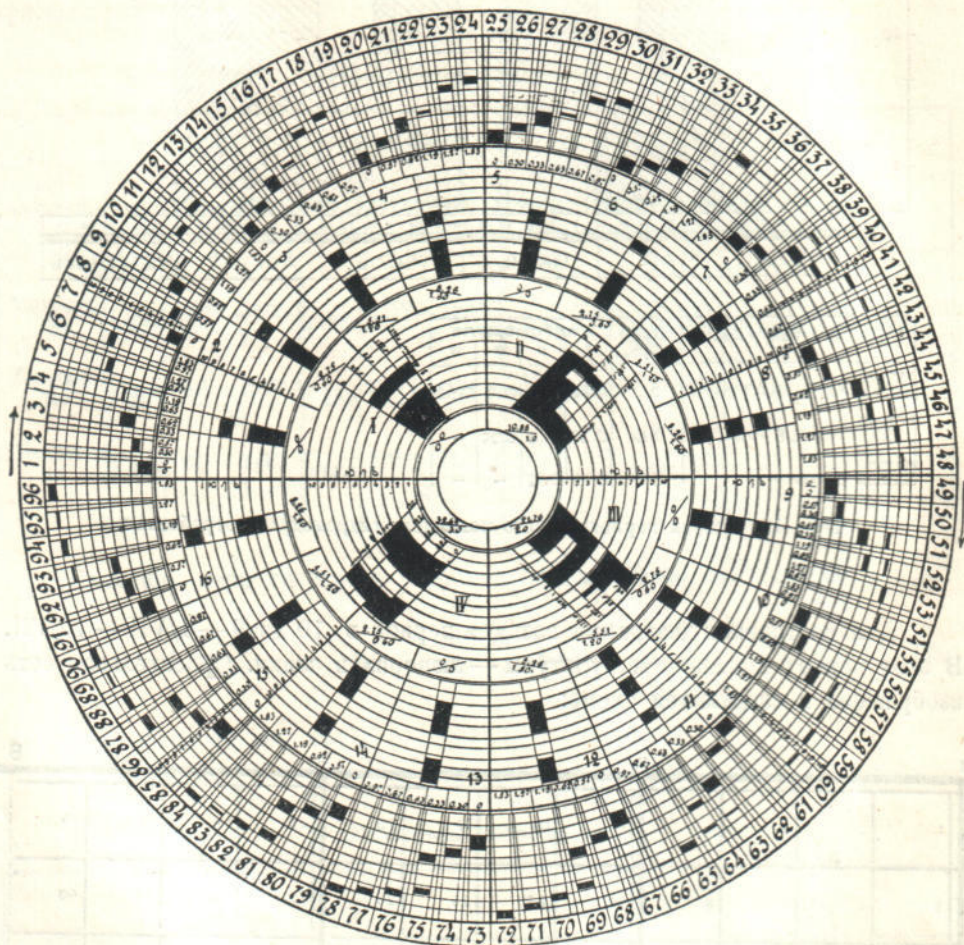
I				II				III				B			
1	2 ¹	3	4	17	18 ^{1_{II}}	19	20	33	34 ^{1_{III}}	35	36				
	2 ₁				2 _{II}				2 _{III}						
5	6	7	8	21	22	23	24	37	38	39	40				
	3 ₁				3 _{II}				3 _{III}						
9	10	11	12	25	26	27	28	41	42	43	44				
	4 ₁				4 _{II}				4 _{III}						
13	14	15	16	29	30	31	32	45	46	47	48				

Черт. 20. Расположение оросительной сети.

Оросительная система, изображенная на схеме, состоит из 48 наделов, 12 околотов, 3 групп. Соответственно каждая единица имеет следующие каналы:

48 наделов	(по 10 <i>а</i>)	— 48 над. орош.	по 100 м длиной
12 околотов	(по 40 <i>а</i>)	— 12 окол. распр.	по 400 м „
3 группы	(по 160 <i>а</i>)	— 3 групп. распр.	по 400 м „
1 систему	(в 400 <i>а</i>)	— 1 магистраль	в 1200 м „

Диаграмма, приводимая ниже, характеризует нам способ построения таковых. (Она относится к другому примеру.)



Черт. 21. Диаграмма водопользования с I/VII по 10/VII из распределителя, орошающего площадь в 480 *а*.

№№ распределителей 1-го порядка с I—IV—цифрами (рамками) в секторах внутреннего кольца. №№ распределителей 2-го порядка с 1—16—цифрами в левых углах секторов среднего кольца. №№ наделов с 1—96—цифрами по наружной окружности внешнего кольца. Длины старших распределителей от их головных регуляторов до регуляторов выходящих из них младших каналов и потери на этих длинах показаны цифрами в виде дроби по наружным дугам секторов каждого канала. Верхние цифры дроби—потери в русских секундолитрах, а нижние—длины в верстах. Расход и время работы каждого канала залиты сплошной краской. Масштабы на оригинале взяты: для времени—1 суткам (24 часа)—6,5 миллиметров, для расхода—42,5 русск. секундолитр.—1 сантиметр.

(Из указ. работы А. М. Костякова. Натур. вел.)

Диаграмма водопользования дает нам возможность определить расход нетто каждого канала системы, потери в каждом канале, общую длину сети и длины отдельных каналов для определенного периода или для всего оросительного периода системы. Для уяснения методов построения диаграммы водопользования надлежит построить таковую для вышеприведенного случая.

Д. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СБРОСНЫХ ВОД В ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ.

Обзор данных, необходимых для проектирования каналов оросительной и сбросной сетей, закончим изложением способа определения количества сбросных вод в оросительной системе.

При выборе того или иного способа полива мы должны остановиться на вопросе размеров стока с поливных площадок. Так, способ полива по бороздкам в определенной его разновидности дает нам *всегда* определенный сток с поливной площадки, больший или меньший в зависимости от длины площадки, характера почв и других условий. При способе полива напуском тоже *возможен* сток с поливной площадки; правда в силу несовершенства сооружения поливных канавок, просачивание значительно отстает от стока. Поэтому даже при наличии горизонтальных или наклонных канавок сток все-таки будет наблюдаться. Способ полива затоплением *всегда* дает некоторые количества сбросной с поливной площадки воды, ибо отношение между количеством воды, потребным для полива площадки, и количеством воды, в действительности израсходованным на полив и площадки, всегда будет больше единицы. Способ полива по дюжоякам, ввиду его аналогии со способом полива затоплением, также *дает* некоторое количество сбросных с поливной площадки вод. Следовательно только *при исключительно рациональном подборе и выполнении поливных площадок, поливных канавок, соотношении между величинами r и d определяемом формулой 52, возможно уменьшение сбросных вод почти до нуля*; обычно же, имея ввиду несовершенство выполнения поливных площадок и поливных канавок, сбросные воды в оросительных системах достигают значительных размеров. Зачастую, ввиду возможных неисправностей в момент полива регулирующих сооружений, приходится удалять из каналов различных категорий значительные количества воды. При разрушениях головного сооружения во время действия оросительной сети также бывает необходимо воду, находящуюся в каналах системы, выводить за пределы системы. Наконец, несовершенство работы регулирующих сооружений той части оросительной сети, которая обычно выполняется и эксплуатируется водопользователями, создает всегда определенный ток воды по каналу ниже закрытого подпорного сооружения (см. наши соображения о потерях) — и эти количества воды необходимо выводить из каналов. Следовательно в каналах оросительной системы, а также и с поливных площадок всегда имеется тот или иной сток, больший или меньший в зависимости от совершенства системы и работы ее. Эти воды бесполезны для системы, и их, дабы система не заболотилась и

не засолилась, необходимо вывести за пределы системы, вывести возможно быстрее и в возможно большем количестве. Для этой работы в оросительной системе проектируется и выполняется особая сеть каналов — *сеть водосбросных или сбросных каналов*. Кроме указанной задачи, при неглубоком залегании поверхности грунтовых вод, при их высокой концентрации, при неумеренном потреблении оросительной воды в системе и, вследствие этого, при возможности смыкания фильтрующей через почву оросительной воды с поверхностью грунтовых вод, на сбросную сеть может быть возложена вторая задача: регулирование поверхности грунтовых вод и возможно быстрый отвод тех вод, которые просочились ниже активного (корнеобитаемого) слоя почвы и, следовательно, сделались не только бесполезными для орошаемой площади, но и вредными — в силу возможности повышения за их счет поверхности грунтовых вод — для районов орошения обычно с высокой концентрацией. Здесь следует указать еще, что в некоторых случаях сбросная сеть отводит и атмосферные осадки, создающие в оросительной системе некоторое количество вредных для системы вод. Эти воды обычно весьма невелики, но для некоторых районов ливневые воды достигают значительных размеров.

Наконец, в районах с засоленными почвами необходимо бывает промывать такие почвы значительными количествами воды. Чтобы после промывки засоленных почв (что нередко бывает) не получилось заболачивания их, нужно создать условия хорошего дренирования почв, условия быстрого и полного отвода вод за пределы промываемых площадей. Эта задача выполняется сбросной сетью.

Таким образом сбросная (отводящая) сеть выполняет следующие задачи:

1. Отводит сбросные воды с поливных площадок.
2. Отводит из каналов оросительной сети те воды, которые образовались в силу несовершенства сети и нерациональности их эксплуатации.
3. Дренирует почвы оросительной системы, выводя из пределов системы фильтрационные воды и регулируя поверхность грунтовых вод.
4. Отводит воды атмосферного стока.
5. Исполняет роль отводящего сооружения при борьбе с засолением почв системы.

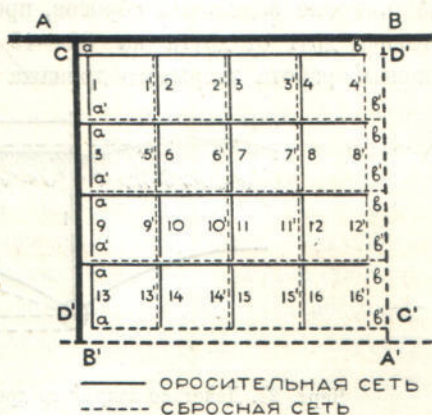
Так как условия, вызывающие необходимость сооружения сбросной сети, являются обычными (все или частично) для всякой оросительной системы, то сбросная сеть является необходимой принадлежностью всякой рационально запроектированной и выполненной оросительной системы и необходима при разумной эксплуатации любой (в любых условиях) оросительной системы. Что касается трассы сбросной сети, то обычно (за исключением особых условий рельефа и в отношении коллекторов, отводящих воду с больших площадей) таковая является зеркальным изображением оросительной сети. Если магистраль оросительной сети должна проходить по наивысшим точкам орошаемой площади, то главный коллектор сбросной сети, наоборот, должен

проходить по самым низшим точкам рельефа — по его тальвегам. Распределители всех порядков проходят по высшим точкам орошаемой ими площади, соответствующие же каналы сбросной сети идут по наинизшим точкам этой площадки. Наконец, поливная канавка проходит в верхней части поливной площадки, сбросная же канавка — по нижней границе поливной площадки. При трассировании сбросной сети на пересеченной тальвегами — естественными водотоками — местности и водопользовательные единицы, и оросительная сеть, и сбросная сеть трассируется с учетом этих тальвегов, с включением их в сбросную сеть и с отступлением от правильной формы (наивыгоднейшей с точки зрения экономики и количества потерь) водопользовательных единиц. Для иллюстрации приведем схему оросительной и сбросной сетей для правильно расположенной оросительной системы (черт. 22).

На схеме сплошными линиями показаны каналы оросительной сети, а пунктиром — каналы сбросной сети.

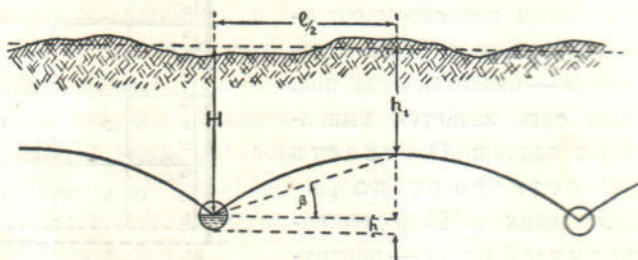
Наиболее важным элементом сбросной сети — точнее, живого сечения каналов сбросной сети — является глубина. Так как сбросная сеть зачастую выполняет две основных задачи: 1) отвести воды поверхностного стока различного происхождения и 2) регулировать подземный сток — поверхность грунтовых вод и фильтрационные воды, то при расчете каналов сбросной сети, при некоторых естественно-исторических условиях, приходится глубину каналов, полученную по расчету на отвод

стока, корректировать, увеличивая ее, для создания необходимого дренажа культурного слоя почвы оросительной системы. В этом случае приходится иметь данные о той глубине, ниже которой при данной культуре должны находиться грунтовые воды. Ибо для каждой культуры имеется своя мощность (или глубина распространения) корневой системы. Корневая система не может нормально развиваться в грунтовых водах, т.е. в таких почвах, где влага превышает полную влагоемкость, где, следовательно, почвенный воздух нацело вытеснен влагой. Это усугубляется в том случае, когда грунтовые воды значительной концентрации. Таким образом первой придержкой для определения глубины каналов сбросной сети является мощность развития корневой системы данных растений. Следовательно, если сбросная сеть выполняет и вторую задачу — регулирование поверхности грунтовых вод, то необходимо знать, как глубоко развита корневая система растений, занимающих орошаемую площадь. Обычно корневая система развивается в пределах от 0,9 до 1,8 м. Приблизительно к этим цифрам и задают глубину сбросной сети в том случае, когда она



Черт. 22. Взаимное расположение оросительной и сбросной сетей в пределах группы.

должна регулировать поверхность грунтовых вод. По данным Фортне, Ф. Кинга (F. King) и др.¹⁾ глубина сбросной сети (закрытой) для регулирования поверхности грунтовых вод у поля (следовательно у элементарных каналов) задается от 1,5 до 1,8 м. Здесь следует отметить, что при необходимости регулировать поверхность грунтовых вод каналы сбросной сети делаются в виде подземного дренажа (трубчатого или других конструкций). Расположение сбросной сети, показанное на схеме 22, имеет в виду работу ее только по отводу вод стока. Если же сбросная сеть выполняет и вторую задачу, то расположение ее изменяется, сеть сбросных каналов (или дрен) учащается, и расстояние между двумя смежными каналами делается, по практике американского и египетского орошения, равным от 15 до 55—60 и чаще всего 30—45 м. Следовательно (применительно к схеме 22) необходимо, кроме надельных сбросов, проводить еще дополнительные сбросы в расстоянии друг от друга на 30—45 м. Теоретически, по прежним опытным данным, работа закрытого дренажа идет по следующей схеме (черт. 23):



Черт. 23. Действие закрытого дренажа; кривые депрессии грунтовых вод.

Согласно этой схеме (в применении к осушительной практике) существует определенная связь между величинами H и l . Задача дренирования ставится следующим образом: чтоб снизить на поле поверхность грунтовых вод до глубины h_1 м, необходимо заложить дренажи на глубину H м при расстоянии между ними в l м. Так, А. Н. Костяков²⁾ указывает следующую связь между тремя величинами:

$$H = h_1 + h + \frac{l}{2} \operatorname{tg} \beta, \quad (76)$$

где, в дополнение к вышеуказанному,

h — глубина воды в дрене,

$\operatorname{tg} \beta$ — тангенс угла депрессионной кривой.

Если в формулу (76) ввести еще угол уклона местности α и угол уклона дренажа γ , то она примет следующий вид:

$$H = h_1 + h + \frac{l}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg}^2 \beta - \operatorname{tg}^2 \alpha}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta - \operatorname{tg}^2 \gamma}}. \quad (77)$$

¹⁾ А. Н. Костяков. Указ. работа, стр. 263.

²⁾ А. Н. Костяков. Основные элементы расчета осушительных систем, 1916 г., стр. 33.

Практически же отношение l к H зависит от свойств почв, в которых закладывается дренаж, и выражается для различных почв следующими цифрами ¹⁾ (при $H = 1,3$ м):

ТАБЛИЦА 57.

№№ по порядку	Характер подпочвы, в которой заложен дренаж	Содерж. частиц 0,01 мм %	Содерж. глинист. частиц %	Расстояние между дренажами м	$\frac{l}{H}$
1	Тяжелые глины и суглинки	> 70	> 55	8—9	7
2	Песчаные глины	55—40	55—40	10—12	7,5—9
3	Плотные суглинки	40—30	25—15	12—14	9—10,5
4	Сильно глини. пески	20—10	7—2	16—18	12—14
5	Песок	—	—	20—24	—

Интересные данные приводит агроном В. С. Малыгин²⁾ о результатах действия подземного дренажа при оросительных системах, полученные на основании 10 лет действия дренажных опытных участков в Мирзачульской степи и на Катта-Курганском оп. поле (средн.-аз. часть СССР). На лёссовидных почвах Мирзачульской степи производилась укладка дрен на глубину в 1,07 м при расстоянии между дренами в 21—85 м, при чем эффект промывки при такого рода дренаже оказался таковым:

ТАБЛИЦА 58.

Глубина заложен. дрен	0—10 см				20—30 см				Примечание
	X 1916	X 1917	III 1918	XI 1919	X 1916	X 1917	III 1918	XI 1919	
	Сухого остатка в % от веса почвы								Расстояние $l = \infty$ 64 м.
На 0,75 м.	7,58	0,55	0,42	0,07	1,58	0,21	0,13	0,07	Пробы брались в 4,25 м от дрен.
На 0,95 „	2,80	0,51	—	0,38	0,79	0,35	—	0,19	Величины в % сухого остатка в почвах старого сада, занятого люцерной после промывки.
На 1,28 „	3,53	0,87	0,67	0,15	0,93	0,20	0,28	0,18	

¹⁾ Проф. Шпетле. Осушение почвы подземным дренажем. Перев. Дубаха, А. Д. 1914 г., стр. 27.

²⁾ „Вестник Иригации“, № 6, 1923 г., стр. 12—15. В. С. Малыгин. К вопросу о борьбе с солончаками в Голодной степи.

Иными словами, для слоя почвы от 0 до 10 см уменьшение количества солей вследствие вымывания достигало от 108 раз при заложении дрен на 0,75 м до 7 раз при заложении дрен на 0,95 м. Агроном В. С. Малыгин говорит, что проектирующие дренажные сети в оросительных системах должны поставить перед собой задачу выполнения дренажных сетей с глубиной заложения до 3,20 м и расстоянием между дренами до 213,0—426,0 м. По его мнению, стоимость этого рода дренажа невелика, и действие его будет удовлетворительно. Для участка в 8,74 га им составлена следующая смета стоимости закладки дренажа (в переводе на м и в некоторой переработке)¹⁾:

1. Вырытие дренажных канав при глубине в 2,13 м и расстоянии между ними в 128 м (всего длина канав на участок — 640 м), — 640 по 0,25 руб.	160 руб.
2. Гончарных труб, примерно, по 4 на 1 пог. метр по 8 к. штука — 640 × 4 по 0,08	205 "
3. Укладка и засыпка дрен по 5 коп. с 1 пог. метра	32 "
4. Устройство приемного колодца для откачки дренажных вод	20 "
5. Организационные и непредвиденные расходы	28 "
<hr/>	
Итого на 8,74 га	445 руб.
А на 1 га	50 руб. 91 коп.

Правда, расчет оптимистичный и не охватывающий всех расходов (например, стоимости водоподъемника, эксплуатационных расходов). Но если учесть и эти расходы, то цифра сможет повыситься только до 60—70 рублей на 1 га, что уже является вполне рентабельным при интенсивном хозяйстве.

Что касается количеств воды, на отвод которых должны быть рассчитаны каналы сбросной сети, то эти количества не поддаются точному учету. Практических данных также мало, поэтому в обычной практике проектирования сбросной сети принимают грубо % сбросных вод = 33%, поступившей в голову воды (как это сделал проф. В. А. Васильев в проекте орошения Чуйской долины). Американские данные указывают, что % сбросных вод в различных оросительных системах колеблется от 4% до 21%. Наши данные дают цифры²⁾, указанные в табл. 59 на стр. 109.

Таким образом практические данные о величине сбросных вод показывают, что они составляют от 0 до 27% количества воды, полученного в голову оросительной системы. В силу этого, не имея точных данных о величине сбросных вод, приходится расчет вести исключительно исходя из приближенных цифр. Считая цифру проф. В. А. Васильева преувеличенной, мы можем указать, что количество сбросных вод нужно принимать

¹⁾ В. С. Малыгин. Указ. работа, стр. 15.

²⁾ Б. С. Арканов. Указ. работ.

ТАБЛИЦА 59.

Р а й о н	‰/‰ сброса	Условия режима оросительной сети
В. Алексеевский	12,6	Новая система, высокая фильтрация $\eta = 0,43$
Исфара	0	Старая система, незначительная фильтрация $\eta = 0,75$
Иска-Ташкент .	27	Старая система, средняя фильтрация $\eta = 0,61$
Самарканд . . .	7	Данные неполные $\eta = 0,4$

около 30% расхода воды в головном сооружении за весь вегетационный период, включая сюда и ливневые воды. Обычно же эту цифру возможно снижать в случае, если:

- 1) система слабо обеспечена водой,
- 2) способ полива выбран наиболее экономный,
- 3) сооружения выполнены технически — рационально,
- 4) имеем дело с опытными поливщиками,
- 5) почвы рыхлые и пересушенные (при первых годах жизни оросительной системы).

Учтя все эти благоприятные условия, мы допускаем снижение процента сбросных вод до 20. Таким образом сбросные воды в первой своей части — в части водостока — по нашему мнению, должны равняться 20%—30% расхода в голове системы, что касается второй части сбросных вод — дренажных — то учет их более легок, и мы можем указать даже формулу внутреннего дренажного стока (по А. Н. Костякову):

$$q = \frac{(m - 0,11 \cdot H \cdot \alpha) \cdot K}{\xi \cdot H \cdot \lg_{\text{nat}} \frac{H}{0,10}} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (78)$$

где

q — дренажный сток в $\text{м}^3/\text{сек}$,

m — поливная норма в $\text{м}^3/\text{га}$,

H — мощность дренируемого слоя = мощности корнеобитаемого слоя в м,

α — недостаток насыщения почвы влагой в ‰/‰ (степень сухости почвы),

K — коэффициент водопроницаемости (просачивания) м/сек,

ξ — коэффициент сопротивления почвы $> 1,0$.

Определив по этой формуле величину дренажного стока и отнеся ее к одинаковой величине расхода канала в голове системы, мы получаем в ‰/‰ величину сбросных вод. На этом заканчиваем изложение предварительных перед расчетом каналов данных.

Е. Гидравлический расчет каналов оросительной и сбросной сетей — ширина по дну (b), глубина воды (h), скорость (v), уклон (i), откосы (m), формы сечения, проверка на заиливание.

Таким образом предварительные перед гидравлическим расчетом — расчетом размеров каналов оросительной и сбросной сетей — данные могут быть получены из изложенного выше. Весь материал, приведенный в предыдущем изложении, сводится, главным образом, к тому, чтобы определить тот расход данного канала, на пропуск которого необходимо будет его рассчитывать — определять его составные элементы. Задача в большинстве случаев затруднительная, ибо при наличии изменения величины Q_{br} , являющейся расчетной на протяжении оросительного периода, является в такой постановке неразрешимой, — нужно рассчитать канал таким образом, чтобы в каждый данный момент сечение канала могло пропустить наибольший при данных условиях расход. Но задача обычно сводится к определению того наибольшего расхода, который необходимо пропускать через канал. Конечно, в этом случае мы идем на увеличение размеров канала, ибо обычный наибольший расход на протяжении оросительного периода встречается весьма непродолжительное время. Исходя из уравнения

$$Q_{br} = F \cdot V, \quad (79)$$

где

Q_{br} — расход канала в наивысшем его сечении,

F — площадь живого сечения в наивысшей его точке,

V — средняя скорость движения воды через данное живое сечение.

Мы должны подобрать F_{min} и V_{max} .

Таким образом, применительно к кривой режима головной части канала следовало, чтобы, исходя из принципа уменьшения величины F , площадь живого сечения была бы наименьшей (т.е. рассчитанной на Q_{br} минимум), а с изменением Q_{br} менялась V . Так как V связана с уклоном i , то, следовательно, необходимо изменять i , что в широких пределах для земляных каналов невозможно. Необходимость выполнения F_{min} диктуется необходимостью уменьшения земляных работ, а следовательно, уменьшения стоимости выполнения каналов. В силу создавшегося положения — невозможности изменения ни F ни V в зависимости от изменения Q_{br} , а также в силу требований пропуска через данное живое сечение Q_{br} максимум, обычно и ведут расчет на наибольший расчетный расход. Количество земляных работ, несомненно, при данном условии получается наибольшее, но другого выхода нет и поэтому сознательно идут на это. Следовательно для данного канала и для данных условий его режима расчетным расходом является наибольший Q_{br} для всего периода его деятельности. Эта величина для данного канала получается из произведения максимальной ординаты графика периодического гидромодуля на отношение

площади орошения к коэффициенту полезного действия системы данного канала:

$$Q_{br\ max} = \frac{\omega_0 \cdot q_0}{\eta}, \quad (80)$$

где

$Q_{br\ max}$ — расход в куб. един./сек,

ω_0 — орошаемая данным каналом площадь в кв. единицах,

q_0 — периодический гидромодуль в кв. един./сек,

η — коэффициент полезного действия системы данного канала.

В чем же заключается расчет канала? Для того чтобы данный канал пропустил расчетный расход через данное его сечение, нужно отыскать размер F_{min} при данных условиях и иметь возможность допустить при данном материале стенок и дна канала V_{max} . Так как в большинстве случаев каналы оросительных систем проводятся в земляных грунтах различной прочности и различной силы сцепления между отдельными частицами грунта, так как, кроме того, при колебаниях расхода канала от Q_{max} до Q_{min} при неизменяемости (практически) живого сечения (F), скорости могут опускаться в своем значении до таких пределов, при которых начинается выпадение из оросительной воды взвешенных в ней наносов, то необходимо при наметании или определении V_{max} вести эту работу с тем расчетом, чтобы уменьшения V_{max} не повели за собой выпадение наносов — не допустили бы заиления каналов. Таким образом при расчете каналов имеем два основных условия правильного расчета и действия каналов оросительной (и сбросной) сетей:

1. *Наибольшая при данных условиях пропускная способность канала.*

2. *Незаиляемость канала при всяких изменениях скорости.*

Если для данного сечения канала эти условия соблюдены, то получается рационально запроектированный и действующий канал.

Оба указанные условия могут быть достигнуты подбором определенной формы живого сечения и определенной скорости, колеблющейся в своем значении в довольно узких пределах. Ход расчета мы приведем несколько ниже, а теперь обратимся к основным уравнениям расчета канала и к отдельным элементам гидравлических слагаемых расхода канала. Основные уравнения расчета каналов известны из гидравлики и могут быть написаны в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} 1. \quad Q_{br} &= F \cdot V_{pac} \text{ м}^3/\text{сек}, \\ 2. \quad V_{pac} &= c \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt{i} \text{ м/сек}, \\ 3. \quad V_{кр} &< V_{pac} < V_{пред}; \end{aligned} \right\} \quad (81)$$

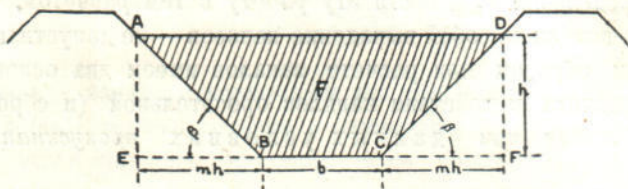
здесь

Q_{br} — наибольший расход брутто в $\text{м}^3/\text{сек}$,

F — минимальная площадь живого сечения канала, необходимая для пропуска расхода, выраженная в м^2 ,

$V_{\text{рас}}$ — средняя расчетная скорость м/сек,
 c — коэффициент скорости в уравнении Шези,
 R — гидравлический радиус канала м,
 i — уклон дна канала в расчетном (проектируемом) участке,
 $V_{\text{кр}}$ — средняя скорость критическая в смысле заиливания м/сек,
 $V_{\text{пред}}$ — средняя скорость критическая в смысле размывания м/сек.

Наивыгоднейшая форма каналов (наибольшая пропускная способность при наименьшей площади живого сечения) является в случае очертания стенок его по полуокружности. Но этот вид профиля возможен лишь при материале, допускающем любые очертания, например, при дереве, железе, твердом камне и др. Земляные стенки, если их не укреплять специальными одеждами, позволяют придавать профилю форму равнобокой трапеции с углом наклона непараллельных сторон к горизонту не более угла естественного откоса грунта, в котором проведен канал. Если мы будем знать величину площади живого сечения и будем знать, что живое сечение должно быть выполнено по профилю равнобокой трапеции, то все же мы можем иметь бесчисленное количество трапеций с одинаковой площадью их, но с различными элементами ее. Представим схематический профиль канала (черт. 24).



Черт. 24. Поперечный профиль оросительного канала.

Для этого профиля назовем:

b — ширина канала по дну,

h — глубина слоя воды,

$EB = CF = mh$ — заложение откосов AB и CD ,

где

$$\angle ABE = \angle DCF = \beta,$$

где m есть ctg угла наклона откосов канала к горизонту (соответ. φ в формуле 24),

β — угол наклона откосов к горизонту.

Тогда будем иметь следующие соотношения между отдельными элементами:

площадь живого сечения

$$F = \frac{AD + BC}{2} \cdot DF = \frac{(b + mh + mh) + b}{2} \cdot h = (b + mh)h, \quad (82)$$

смоченный периметр этого сечения

$$P = BC + AB + CD = b + \sqrt{h^2 + m^2 h^2} + \sqrt{h^2 + m^2 h^2} = b + 2h\sqrt{1 + m^2}, \quad (83)$$

гидравлический радиус

$$R = \frac{F}{P} = \frac{(b + mh)h}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}. \quad (84)$$

Далее, подставляя соответствующие величины в две первых формулы (81), будем иметь:

$$Q_{br} = (b + mh)h \cdot V_{pac} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (85)$$

$$V_{pac} = c \cdot \sqrt{\frac{(b + mh)h}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}} \cdot \sqrt{i} \text{ м/сек}. \quad (86)$$

Таким образом, имея три уравнения (81) мы должны задаться четырьмя из семи приведенных выше элементов, чтобы решить эти уравнения и определить 3 неизвестных. Методы решения этих уравнений мы приведем в примерном расчете живого сечения канала, а теперь приведем краткие сведения о наивыгоднейших и употребляемых значениях отдельных элементов входящих в уравнение (81).

1. $\alpha = \frac{b}{h}$ и величины b и h Основными элементами живого сечения канала (той части поперечного профиля, которая занята водой) являются — ширина канала по дну (b), глубина воды в канале (h) и отношение этих двух величин $\left(\alpha = \frac{b}{h}\right)$. Последняя величина является показателем выгодности данного живого сечения с точки зрения его пропускной способности. Это соотношение для наивыгоднейшей, с точки зрения пропускной способности канала, формы трапеции может быть различно в зависимости от угла наклонения непараллельных сторон трапеции к меньшей параллельной стороне (угла наклонения откосов канала к дну канала), выражаемого горизонтальным проложением откосов. Так, А. Н. Костяков ¹⁾ дает следующие наивыгоднейшие значения $\alpha = \frac{b}{h}$ при различных значениях $m = \text{ctg } \beta$.

1) А. Н. Костяков. Основные элементы расчета осушительных систем. Стр. 120.

ТАБЛИЦА 60.

Значения $m = \operatorname{ctg} \beta$	Наивыгоднейшее $\alpha = \frac{b}{h}$
0 (вертик.)	2
0,5 (половин.)	1,23
1,0 (одинари.)	0,83
1,5 (полуторн.)	0,61

При таких значениях α — при данном приложении откосов m — мы получаем наивыгоднейшую, обладающую наибольшей пропускной способностью, форму живого сечения. В графических таблицах для расчета каналов, составленных под редакцией В. А. Васильева¹⁾ дается следующая таблица определения размеров экономического сечения каналов — его элементов.

В этой таблице для $b = r\sqrt{F}$ }
 „ $h = n\sqrt{F}$ } где F — площадь живого сечения канала,
 „ $R = k\sqrt{F}$ }

определяются в зависимости от величины m коэффициенты r , n и k .

ТАБЛИЦА 61.

m	Коэффициенты r , n , k в формулах $r\sqrt{F}$, $n\sqrt{F}$, $k\sqrt{F}$.		
	Для h n	Для b r	Для R k
0	0,707	1,414	0,354
0,5	0,759	0,940	0,380
1,0	0,740	0,613	0,370
1,5	0,689	0,417	0,345
2,0	0,636	0,301	0,318

1) В. А. Васильев. Графические таблицы для расчета каналов, стр. 9.

Так как $\alpha = \frac{b}{h}$, а из указанных формул

$$\begin{aligned} h &= n \sqrt{F}, \\ b &= r \sqrt{F}, \\ \alpha &= \frac{b}{h} = \frac{r}{n}. \end{aligned} \quad (87)$$

По приведенной таблице для *экономического сечения* мы будем иметь следующие значения α для различных m :

для $m = 0$	$\alpha = 2$	} что соответствует значениям • α в таблице 60.
„ $m = 0,5$	$\alpha = 1,23$	
„ $m = 1,0$	$\alpha = 0,83$	
„ $m = 1,5$	$\alpha = 0,61$	
„ $m = 2,0$	$\alpha = 0,47$	

Проф. А. И. Астров¹⁾ дает следующий метод определения *наивыгоднейшей формы живого сечения канала*, соответствующей данной его площади F . Он говорит, что такая форма сечения будет достигнута при условии *наименьшего смоченного периметра* и *наибольшего гидравлического радиуса*. Не производя детальных выкладок, приведем значения b , h и α для *наивыгоднейшей формы живого сечения трапециoidalного вида*, согласно А. И. Астрову:

$$h = \frac{\sqrt{F}}{\sqrt{2\sqrt{1+m^2}-m}}, \quad (88)$$

$$b = 2h(\sqrt{1+m^2}-m). \quad (89)$$

Для примера возьмем $b = 1,0$ м, $m = 1,0$, тогда $h = 0,75 \sqrt{F}$; если нужно подыскать *наивыгоднейшее h* для $Q = 3,125$ м³/сек и $V = 0,5$ м/сек, то решение получается следующее:

$$F = \frac{Q}{V} = \frac{3,125}{0,5} = 6,25 \text{ м}^2,$$

$$\sqrt{F} = 2,5 \text{ м},$$

$$h = 0,75 \cdot 2,5 = 1,875 \text{ м}.$$

¹⁾ Проф. А. И. Астров. Гидравлика, стр. 355—356.

Иногда для определения наивыгоднейшей величины F применяют следующую формулу ¹⁾ значения h :

$$h = 0,5 \sqrt{F}. \quad (90)$$

Что касается принятых в оросительных системах значений α , то П. П. Флинн ²⁾ указывает, что для холостой (не имеющей отводов на орошаемую площадь) части каналов для плотных грунтов величину α возможно принимать равной 2—3; по его данным для индийских каналов, проведенных в суглинистых грунтах, α обычно изменяется в пределах от 10 до 12; для некоторых (значительных) каналов Флинн приводит следующие значения α :

ТАБЛИЦА 62.

Наименование каналов	α
Агра	7
З. Джумна	13
Сетледж	14
Беря-Доаб	15
Сон	20

Английские инженеры рекомендуют выбирать α для каналов-магистралей приблизительно равным таковому же отношению для русел рек у головного сооружения ³⁾.

Что касается величин b , h и α для каналов некоторых русских систем, выполненных и действующих уже несколько десятков лет, то эти величины приведены в табл. 63 на стр. 117 ⁴⁾.

Наконец, для индийских каналов П. П. Флинн рекомендует следующую формулу наивыгоднейших b и h :

$$b = 3,33 (h + 0,3)^2. \quad (91)$$

Например, при $b = 3,050$ м имеем по указанной формуле следующее наивыгоднейшее α .

$$\alpha = \frac{3,048}{0,615} \approx 5,0.$$

1) А. Н. Костяков. Лекции по курсу сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций.

2) П. П. Флинн. Ирригационные каналы и сооружения к ним относящиеся, стр. 11—14.

3) С. Ф. Островский. Ирригационные системы Индии, стр. 85.

4) С. Ю. Раунер. Указ. работа, стр. 239—242.

ТАБЛИЦА 63.

Наименование и категория каналов.	b м	h м	α
Бывш. Жеребцовский участок.			
Главный канал	0,70	0,70—0,85	1,0—0,82
Распределители	0,34	0,53	0,64
Оросители	0,34	0,34	1,0
Бывш. Тимашевское имение.			
Главный канал	1,07	0,75	1,42
Распределители I пор.	0,64	0,53	1,21
Распределители II пор.	0,53	0,43	1,23
Распределители III пор.	0,43	0,32	1,34

Рассмотрение проектов оросительных систем бывш. Романовской, Мирзачульской, Чуйской и на р. Салгире дают следующее значения b , h и α ¹⁾:

ТАБЛИЦА 64.

Наименование системы и канала.	b м	h м	α
Бывш. Романовская сист.			
Магистраль	17,25—29,85	1,60—2,88	6—19
Мирзачульская сист.			
Нижн. машин. канал	6,92—10,65	1,45—2,71	4—5
Верхний машин. канал	6,39— 9,59	1,26—2,56	4—5
Салгирское водохранилище.			
Водосливный канал	8,52	3,20	2,5
Чуйская система			
Левобер. магистраль (косогор) . . .	4,05—14,27	2,04	2—7
Левобер. магистраль (2—344 + 41,0) .	1,07— 6,39	1,85—2,13	0,5—3,5

¹⁾ См. журналы заседаний Техн. Комитета Отд. Зем. Улучш. по соответствующим проектам (наши выборы).

II. Значение величины $\operatorname{ctg} \beta = m$. Обычно при расчете каналов величина $\operatorname{ctg} \beta = m$ задается применительно к характеру грунта, в котором проведен канал. Эта величина зависит преимущественно от свойств грунта, от способности данного грунта не обрушаться. Предельной величиной угла, при котором начинается обрушение, является *угол естественного откоса*, или *угол естественного обрушения грунта*. Если свойствами грунта в данном случае определяется наибольшая величина угла β , то уменьшению его ставится предел следующим условием: уменьшение угла откоса канала или увеличение значения m ведет за собой увеличение объема земляных работ, а следовательно, и увеличение стоимости канала. Таким образом нужно стремиться подобрать величину m по возможности близкой к величине m , соответствующей углу естественного откоса, не упуская из виду, что m влияет на значение наивыгоднейшего h .

На величину угла естественного откоса данного грунта оказывает значительное влияние степень влажности грунта: например, для сухой глины этот угол равен 45° , а для мокрой — 16° .

Угол естественного откоса, т.-е. тот угол, дальше которого нельзя переходить в увеличении угла наклона откосов канала к дну его, для различных грунтов представлен в следующей таблице ¹⁾:

ТАБЛИЦА 65.

Г р у н т	Угол естеств. откоса	Г р у н т	Угол естеств. откоса
Гравий (среднее)	40°	Гравет	39°
Сухой песок	38°	Щебень	45°
Песок	22°	Сухая глина	45°
Растительн. земля	28°	Мокрая глина	16°
Плотно слежавшаяся земля . .	50°		

С. Ю. Раунер ²⁾ указывает на то, что при насыпных грунтах m делается $= 1\frac{1}{2}$. П. П. Флинн ³⁾ замечает, что водные откосы делаются с значением m от 0,5 до 3, обычно 2 и редко 1; сухие откосы

¹⁾ П. П. Флинн. Указ. работа, стр. 18—16.

²⁾ С. Ю. Раунер. Указ. работа, стр. 233.

³⁾ П. П. Флинн. Указ. работа, стр. 18—16 и 11.

имеют $m = 1,5$. Здесь же он отмечает, что наличие большого содержания взвешенных наносов в воде, присутствие водяных растений в канале и наличие заиления влекут за собой переход пологих откосов к откосу с $m = 0,5$.

С. Ф. Островский ¹⁾ указывает на то, что в индийских каналах величина m обычно равна 1,5, но часто такие откосы заиляются и переходят в откосы с $m = 1,0$ и менее. По его данным величина m для распределителей и их ветвей в индийских каналах равна 1,5, а для второстепенных распределителей она равна 1,0.

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

1. Угол откосов канала не должен превосходить угла естественного откоса для данного грунта.

2. Водные откосы необходимо намечать более пологими, чем сухие, делать m большим для водных и меньшим для сухих откосов.

3. Ввиду необходимости уменьшения земляных работ и ввиду того, что движущаяся по каналу вода стремится уменьшить значение m , т.-е. увеличить угол наклона откосов канала к дну его, необходимо задавать эти углы по возможности ближе к углу естественного откоса для данного грунта.

4. Для каналов с малой пропускной способностью возможно намечать меньшее значение величины m , чем для крупных каналов.

III. Форма поперечного профиля каналов. Форма и очертания поперечного профиля каналов оросительных систем определяются в значительной степени следующими условиями:

1. Целью, с которой канал устраивается.

2. Грунтом, в котором он проводится.

3. Рельефом местности, по которой он проложен.

При чем наилучшим видом поперечного профиля канала является поперечный профиль частью в выемке, частью в насыпи с тем, чтобы насыпь уравнивалась выемкой, т.-е. чтобы на образование насыпи вполне хватило того грунта, который будет получен из выемки. Это условие может и не соблюдаться, если грунт выемки не может быть по своим качествам употреблен для образования насыпи. Кроме того характер рельефа местности, по которой проложен канал, особенно для крупных каналов, играет преимущественную роль: им и определяется форма поперечного профиля канала. Высказанное вначале положение будет оставаться в силе лишь при спокойном рельефе. Все формы поперечного профиля канала могут быть (за исключением незначительного количества особо характерных типов рельефа местности) сведены в следующие 4 группы:

1. Канал, несущий поперечный профиль *в насыпи*.

2. Канал, несущий поперечный профиль *в выемке*.

¹⁾ С. Ф. Островский. Указ. раб., стр. 86 и 110.

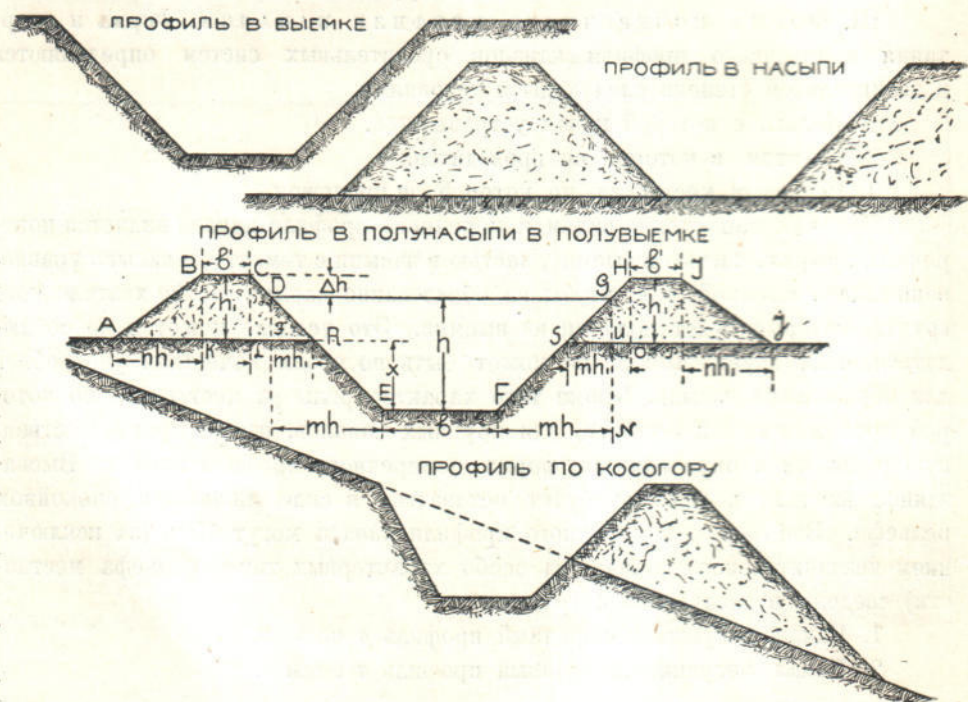
3. Канал с поперечным профилем *частью в насыпи, частью в выемке*.
4. Канал с поперечным профилем *по косогору*.

Первая группа поперечных профилей встречается в условиях слабо расчлененного и слабо выраженного рельефа, с малыми уклонами. Эта группа поперечных профилей характерна также для каналов малого расхода.

Вторая группа профилей встречается в холостых частях по преимуществу магистральных каналов и крупных распределителей и для резко выраженного и расчлененного рельефа, а также, как правило, для сбросной сети (всех каналов).

Третья группа чаще всего встречается и употребительна при рельефах со средним и крутым уклоном. Эта группа поперечных профилей должна считаться универсальной и наиболее желательной как с точки зрения экономии средств, так и с точки зрения устойчивости самого сечения канала.

Четвертая группа поперечных профилей есть явление частное, обуславливаемое необходимостью обхода крутых склонов, косогоров. Эта группа характеризуется тем, что один откос канала выполняется в выемке, а другой в насыпи или частью в насыпи, частью в выемке. Все поименованные типы поперечных профилей каналов изображены на следующей схеме:



Черт. 25. Типы поперечных профилей оросительных каналов.

В некоторых случаях в профилях третьей группы (большие каналы, удобства инспектирования) между подошвой насыпи и вершиной выемки оставляется *берма* — горизонтальная площадка — шириной 0,61—1,83 м. Практически выполняемые размеры элементов поперечного профиля каналов следующие ^{1, 2)}:

$$b' = 1,22—3,05 \text{ м}$$

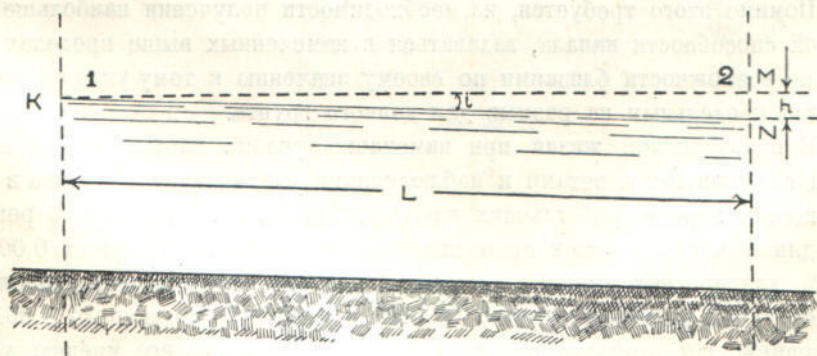
для главного канала	$b = 6,10—7,62 \text{ м}$	} индийские каналы.
„ ветвей	$b = 3,05—6,10 \text{ „}$	
„ распределителя	$b = 0,61—3,05 \text{ „}$	

Что касается величины Δh , то она в среднем равна $\approx 0,45 \text{ м}$.

Главные каналы	0,91 м	} индийские каналы.
ветви	0,61 „	
распредел.	0,31—0,61 м	

Величина H определяется рельефом, пропускной способностью; величины m и n определяются характером грунта.

IV. Уклон дна канала (i). Для придания той или иной скорости движущейся по каналу воде, дно канала выполняется в продольном профиле с приданием ему некоторого угла наклона к горизонту. Абсолютное значение этого уклона настолько мало, что безразлично считать ли длину участка канала, уклон которого определяется, по поверхности воды или по горизонтальной линии, проведенной между начальным и конечным поперечными профилями канала. Если мы изобразим участок канала, уклон которого необходимо определить, то он выразится в следующем чертеже:



Черт. 26. Продольный профиль оросительного канала.

1) П. П. Флиин. Указ. работа, стр. 24—25.

2) С. Ф. Островский. Указ. работа, стр. 111.

Угол MKN — угол уклона поверхности воды (и дна) канала $= i^\circ$,

$MN = h$ — падение канала,

$KN \approx KM = L$ — длина участка канала.

Из прямоугольного треугольника KMN имеем следующие отношения сторон треугольника:

$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{KN} &= \sin i = \frac{h}{L}, \\ \frac{h}{KM} &= \operatorname{tg} i = \frac{h}{L}. \end{aligned} \right\} \quad (92)$$

Кроме того, ввиду малости угла i можно считать, что и $\sin i$ и $\operatorname{tg} i$ равны самому углу, т.-е.

$$\frac{h}{L} = \sin i \approx \operatorname{tg} i \approx i. \quad (93)$$

Угол уклона дна (и поверхности воды) реки и канала изменяется падением дна (поверхности воды) на единицу длины реки, канала. Подбирая величину i для различных каналов, мы должны иметь в виду, что эта величина должна удовлетворять следующим условиям:

1. Необходимо для данных условий грунта подобрать такой уклон, чтобы согласно формуле Шези ($V = c\sqrt{R} \cdot \sqrt{i}$) средние скорости, получающиеся вследствие принятия данного уклона, не превышали в своем максимальном (для сечения) значении предельных на размыв для данного грунта.

2. С другой стороны, уклон дна канала должен быть подобран таким, чтобы средние скорости, получающиеся вследствие принятия данного уклона, не были ниже или равны в своем минимальном значении критическим скоростям на заиление для данных условий насыщения (содержания) взвешенными наносами воды в канале.

Помимо этого требуется, из необходимости получения наибольшей пропускной способности канала, задаваться в намеченных выше пределах уклонами, по возможности близкими по своему значению к тому уклону, который является предельным на размыв для данного грунта.

В практической жизни при намечании уклона канала можно пользоваться следующими советами и наблюдениями над величиной уклона в существующих и хорошо работающих каналах. Так, С. Ю. Раунер ¹⁾ рекомендует для больших каналов проводящей сети применять уклон от 0,0002 до 0,0003; для средних и малых — 0,0004. Для распределительных каналов им рекомендуются значения каналов от 0,0004 до 0,0008 и даже до 0,0010, но наилучшими для этой категории каналов являются, по его мнению, уклоны 0,0005—0,0006. При намечании уклонов П. П. Флиин ²⁾ советует придерживаться следующих правил:

1) С. Ю. Раунер. Указ. работа, стр. 235—238.

2) П. П. Флиин. Указ. работа, стр. 22—23.

1. Перед ответвлениями необходимо несколько увеличивать уклон по сравнению с необходимым для создания пропускной способности.

2. Если в воде взвешенных наносов незначительное количество, то уклон канала можно делать по всей его длине однообразным.

3. Для получения возможности провести воду от источника орошения до орошаемого поля с одинаковой скоростью, необходимо уклон каналов различных категорий изменять от наиболее крупного канала к самому малому — путем постепенного увеличения крутизны его.

4. При значительных количествах взвешенных наносов постепенное увеличение уклона каналов по категориям каналов, начиная от источника орошения к орошаемому полю, даст возможность перенести эти наносы на орошаемое поле.

Приведем две таблицы значений уклонов — одну для запроектированных каналов с тем, чтоб установить, как меняется уклон по длине канала в зависимости от рельефа и свойств грунта, а другую — для существующих каналов.

ТАБЛИЦА 66.

Наименование системы	Расстояние от головы в пикетах	Величина i
Бывш. Романовская (магистраль)	1— 37 вер.	0,00070
	1— 87 „	0,00065
	1—170 „	0,00060
	1—170 „	0,00032
	1—245 „	0,00020
	1—306 „	0,00010
Голодноостепская (Верхн. машин.)	на 0 вер.	0,00010
	1— 30 „	0,00010
	1— 50 „	0,00010
	1— 90 „	0,00011
	1—110 „	0,00011
Чуйская (левобереж. маг.)	2	0,00025
	72+27,54 вер.	0,00025
	84+40,00 „	0,00025
	135+49,46 „	0,00025
	211+21,74 „	0,00025
	344+41,00 „	0,00045

ТАБЛИЦА 67.

Страна	Наименование канала	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
Индия	Ниж. Гангский .	24,28	1,43	0,00024
	Агрский	10,00	1,43	0,00009
С.-А. С. Штаты	Северный р. . .	9,29	0,79	0,00152
	Центр. Пустыни.	8,57	0,86	0,00010
	Тюрлок	2,86	1,43	0,00015
	Фуллис	1,71	0,71	0,00040
Египет	Дельта	24,86	2,86	0,000067
	Дельта	24,86	1,43	0,000083
	Субк	1,86	0,86	0,000050

V. Скорости движения воды в канале и коэффициенты *c* в скоростных формулах. Уклоном, как мы знаем из формулы Шези, определяются (при постоянных размерах сечения и постоянном коэффициенте шероховатости) величины — средней скорости в данном сечении и скоростей в любой точке живого сечения канала. Мы знаем, что в распределении скоростей по сечению существует известное соотношение между скоростями — *средней у dna и на поверхности*. Эти соотношения формулируются различными авторами по различному. Для наших целей приведем наиболее простые соотношения (по Дюбуа):

$$\begin{cases} V_{cp} = 0,82 V_{нов}, \\ V_{cp} = 1,28 V_{дн}; \end{cases} \quad (94)$$

тогда при

$$\begin{aligned} V_{нов} &= 1,00, \\ V_{cp} &= 0,82, \\ V_{дн} &= 0,64. \end{aligned}$$

Расчет размеров каналов и их пропускной способности ведется, исходя из значений средней для данного сечения канала скорости. Поэтому обычно устанавливают предельное и критическое значения лишь для средней скорости. Предельные и критические значения скоростей (аналогично таковым же уклонам) зависят от свойств грунта. Раунер, Флинн и Островский приводят следующие значения предельных (на размыв) скоростей (табл. 68).

ТАБЛИЦА 68.

Г р у н т	Значение предельн. средн. V м/сек.		
	По Раунеру	По Флину	По Островск.
Иловатый	0,11	0,10	—
Глинистый	0,23	0,20	1,22—1,52
Песчаный	0,46	0,40	—
Гравий	0,96	0,80	—
Крупный гальш . . .	1,23	1,20	1,52—2,13
Скала слоистая . . .	2,27	2,50	—
Крупный камень . . .	1,86	1,70	2,44—4,57
Скала твердая	3,70	4,00	—
Конгломерат, аспид. .	—	2,00	—
Большие булыги . . .	—	—	6,10—7,62
Пористый известняк .	—	—	1,52—3,05
Лёсс	—	—	0,76—1,07
Крупный песок	—	—	0,46—0,61
Мар (вулкан. пепел) .	—	—	0,15—0,31

Предельные на размывание средние скорости по Раунеру и по Флину более всего подходят друг к другу. Островский дает слишком преувеличенные значения, даже и для больших каналов. Отсутствие систематических данных по исследованиям и опыту в этой области заставляет нас признать задачу эту еще нерешенной, поэтому остается принять из приведенных по Раунеру и по Флину (оставляя данные Островского неиспользованными) значения средних предельных на размыв скоростей в следующих цифрах:

ТАБЛИЦА 69.

№ по рядку	Род почв и грунт	Характер сложения	Значение V_{cp} м/сек
1	Глина.	Иловатая, мелкоземная.	$\approx 0,11$
2	Глина.	Рыхлая.	$\approx 0,23$
3	Песок.	Мелкий, рыхлый.	$\approx 0,45$
4	Песок.	Крупный плотный.	$\approx 0,53$
5	Гравий (мелкая галька) . . .	Мелкий, рыхлый.	$\approx 0,88$
6	Лёсс	Плотный, слежавшийся.	$\approx 0,91$
7	Галька	Крупная	$\approx 1,22$
8	Камень	Крупный, обломки.	$\approx 1,78$
9	Конгломерат	—	$\approx 2,00$
10	Скала.	Слоистая	$\approx 2,40$
11	Скала.	Твердая	$\approx 4,00$

Как увидим ниже, величина средней скорости определяется из основной формулы Шези:

$$V_{cp} = c \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt{i}, \quad (95)$$

где

V_{cp} — средняя для данного живого сечения скорость в м/сек,

R — гидравлический радиус данного живого сечения м,

i — уклон дна канала, выраженный в м на единицу длины канала,

c — некоторый коэффициент, определяющий собой пропорциональность средней скорости сопротивлению, оказываемому шероховатостью откосов и дна канала движению воды.

Для нахождения величины коэффициента c различными авторами предложен ряд формул, при чем для расчета каналов чаще всего употребляются формула новая Базена и полная формула Гангиле-Куттера в следующем виде (для метрических мер):

Формула Базена:

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}, \quad (96)$$

где γ — коэффициент шероховатости.

Полная Гангиле-Куттера (для метрических мер):

$$c = \frac{\alpha + \frac{\beta}{i} + \frac{1}{n}}{1 + \left(\alpha + \frac{\beta}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}, \quad (97)$$

где

$\alpha = 23$,

$\beta = 0,00155$,

n — коэффициент шероховатости.

Значение коэффициента шероховатости γ для новой формулы Базена в зависимости от характера стенок канала ¹⁾ приводится в следующей таблице:

ТАБЛИЦА 70.

№ стен. кан.	Характер стенок канала	γ
1	Очень гладкие стенки — гладкая цементная штукатурка, строганные доски и т. п.	0,06
2	Гладкие стенки — нестроганные доски, кладка из тесанного камня, кирпича и т. п.	0,16
3	Бутовая кладка.	0,46
4	Промежуточная категория — стенки в очень плотном и чисто содержимом земляном грунте, стенки, вымощенные мелким булыжником, стенки, высеченные более или менее чисто в скале	0,85
5	Земляные стенки — в обычном состоянии заросшие, вымощенные некрупным булыжником	1,30
6	Стенки с особо-значительной шероховатостью: обильные водоросли, крупная галька, плохая кладка, скалистое дно и т. п.	1,75

Значение коэффициента шероховатости n в формуле Гангиле-Куттера приводится для 14 категорий стенок каналов и изменяется в пределах от 0,009 до 0,050.

¹⁾ А. И. Астров. Гидравлика, стр. 342.

ТАБЛИЦА 71.

№ по по- рядку	Х а р а к т е р р у с л а	n по Кут- теру
1	Хорошо строганное дерево, в совершенном порядке и прямо- линейное; в противном случае значение 0,01 будет, вероятно, более соответствующим	0,009
2	Штукатурка из чистого цемента; строганное дерево; глазированные, крашенные или эмалированные штейнгутовые и желез- ные трубы; глазированные поверхности всякого рода в совершен- ном порядке	0,010
3	Штукатурка из цемента с одной третьей частью песка в хорошем состоянии; тоже железные, цементные и терракотовые трубы, хорошо соединенные и в лучшем порядке	0,011
4	Нестроганное дерево, если оно совершенно непрерывно с внутрен- ней стороны; желоба	0,012
5	Каменная и хорошая кирпичная кладка; обыкновенный металл: гончарные и штейнгутовые трубы в хорошем состоянии, но не новые; цементные и терракотовые трубы, нехорошо со- единенные и в несовершенном порядке; штукатурка и стро- ганное дерево в несовершенном порядке или плохом состоянии; и вообще материалы, упомянутые для коэффициента $n = 0,010$, когда находятся в несовершенном или плохом состоянии . .	0,013
6	Кирпичная кладка второго сорта или грубая; хорошая каменная кладка; изъеденное и слегка покрытое наростами железо; цементные и терракотовые трубы с несовершенными стыками и в плохом состоянии; парусиновая обшивка на деревянных рамах	0,015
7	Кирпичная и каменная кладка и штейнгут в плохом состоянии; железные трубы, покрытые наростами; бутовая кладка на це- менте или штукатурка в хорошем состоянии; мелкий гравий, хорошо утрамбованный, $1\frac{1}{3}''$ до $2\frac{2}{3}''$ в диаметре; вообще ма- териалы, упомянутые для коэффициента $n = 0,013$, когда они находятся в плохом состоянии и условиях	0,017
8	Бут на цементе в плохом состоянии, крупный бут, сложенный в нормальном состоянии, крупный бут сложенный насухо; разрушенная кирпичная и каменная кладка; крупный гравий, хорошо утрамбованный, $1''$ — $1\frac{1}{3}''$ диаметра; каналы с ложем и берегами из очень крепкого, однообразного гравия, тща- тельно планированного и утрамбованного в слабых местах; грубый бут с ложем, отчасти покрытым илом и грязью; че- тыреугольные деревянные корыта с планками, прибитыми с внутренней стороны на расстоянии в $2''$, планированная земля в совершенном порядке	0,020
9	Каналы, вырытые в земле, находящиеся в порядке и условиях выше средних	0,0225

№№ по по- рядку	Х а р а к т е р р у с л а	n по Кут- теру.
10	Каналы и реки в земле, с достаточно правильным поперечным сечением, уклоном и направлением, находящиеся в довольно хорошем порядке и в хороших условиях и свободные от камней и водяных растений	0,025
11	Каналы и реки в земле, находящиеся в порядке и условиях ниже средних	0,0275
12	Каналы и реки в земле, находящиеся скорее в плохом порядке и условиях и имеющие случайные камни и водяные растения или засоренные каменными обломками	0,030
13	Каналы и реки с земляным ложем, находящиеся в плохом порядке и условиях, и имеющие камни и водяные растения в большом количестве	0,035
14	Ручьи, загроможденные каменными обломками	0,05

Из этих двух формул наиболее универсальной (с точки зрения соответствия изменениям рельефа, формы поперечного сечения потока и свойств грунтов) является формула Гангилье-Куттера (полная) — ею обычно и пользуются при расчете каналов. Недостаток этой формулы — громоздкость вычислений, но, обычно, это устраняется или разработкой таблиц (по типу таблиц П. Флинна в его труде „Движение воды в оросительных каналах, канавах, желобах, водопроводных трубах, водостоках и пр.“) или же составлением диаграмм значений c по формуле Гангилье-Куттера в зависимости от формы сечения и уклона канала (по типу таблиц В. А. Васильева, П. П. Флинна и др.).

Что же касается формулы Базена (новой), то эта формула имеет ограниченные пределы применения и годна для средних качеств стенок и дна каналов.

Установив по приводимым данным наивыгоднейшее значение величин b , h , m , i , V и форму сечения, возможно решить первую часть задачи: определить наивыгоднейшее (экономическое, с наибольшей пропускной способностью) живое сечение канала, при первом условии непревышения значения предельной скорости на размыв. В дополнение к этому необходимо произвести проверку подобранного нами сечения на заиление.

vi. Проверка на заиление. Канал, рассчитанный на наибольшую пропускную способность и имеющий экономическое живое сечение, может оказаться нерациональным и может быть причиной перерыва действия оросительной сети, в которую он включен, если скорости, допущенные в нем, будут не в силах выносить взвешенные наносы — если этот канал будет за-

илиться. Заиление одной части канала влечет за собой размыв в другой его части — канал перестает отвечать проектному режиму, понижает свою пропускную способность и принуждает водопользователей затрачивать для восстановления своей нормальной работы значительные средства на удаление наносов из русла каналов. Опыт старых оросительных систем показывает, что оросительные системы, выполненные туземцами без определенных методов расчета или выполненные техническим персоналом, но по старым методам проектирования, должны ежегодно обслуживаться большими средствами на удаление наносов (как пример укажем, что в низовьях р. Аму-Дарьи на очистку главных каналов затрачивалось в начале XX столетия ежегодно до 15—16 рублей на 1 дес. орошенной земли). Поэтому задача проверки принятого живого сечения на заиляемость является весьма важной в рациональном проектировании оросительных систем, ибо она сохранит систему от затраты на нее значительных эксплуатационных средств. При решении практической задачи переустройства оросительной системы Барн Доаб родилась попытка математически обосновать заиление оросительных каналов. Инженер Р. Т. Кеннеди (R. T. Kennedy), обследовав около 90 англ. миль оросительной сети Барн Доаб, дал первое (далеко не исчерпывающее) выражение „критической скорости“, при которой при данных условиях грунта и формы живого сечения начинается заиление. Эта попытка подверглась основательной критике при самом ее зарождении, критика эта остается в силе и сейчас, но ввиду отсутствия других, более точных и детальных методов проверки живого сечения канала на заиление, этим выражением приходится пользоваться по настоящее время.

Формула, установленная инж. Кеннеди для определения критической скорости на заиление, связывала характер и размер живого сечения, среднюю скорость и характер взвешенных наносов.

Общий вид ее был таков ¹⁾:

$$V_{кр} = cd^m, \quad (98)$$

где

$V_{кр}$ — скорость критическая в смысле заиления,

c — коэффициент, определяющий собой степень насыщения воды взвешенными наносами для условия равновесия насыщения.

d — глубина воды в канале,

m — показатель степени, характеризующий величину силы, переносящей наносы.

Для совершенно конкретных условий Кеннеди получил следующие цифровые значения этих величин:

$c = 0,84$ для футов. измерений и $c = 0,55$ для метров.

$m = 0,64$.

¹⁾ В. В. Чилов. Заиление ирригационных каналов, стр. 18.

Поэтому для условий оросительной сети Барн Доаб—для каналов с глубиной воды h от 0,67 до 2,13—было получено следующее значение критической скорости:

$$V_{кр} = 0,55 h^{0,64} \text{ фут/сек.} \quad (99)$$

Дабы ввести в эту формулу влияние характера наносов, а также более связать эту формулу с характером и размерами сечения, Гаррет (Garret)¹⁾ предложил ряд эмпирических коэффициентов (величин относительных), характеризующих, главным образом, вид взвешенных наносов, остановившись на одном типе их—песчаных. Эти коэффициенты приведены в нижеследующей таблице:

ТАБЛИЦА 72.

Х а р а к т е р н а н о с о в	Коэффициент
	Футов. изм.
Очень мелкие песчаные наносы рек сев. Индии	1,00
Более крупные песчаные наносы	1,10
Крупные песчаные наносы	1,20
Самые крупные песчаные наносы	1,30

Беклей (Bisley) дает для каналов—Пров. Синд этот коэфф. = 0,48

” ” ” ” ” Египта ” ” ” ” ” = 0,43

Наконец Трупп (Thrupp) рекомендует для двух глубин $h = 0,31$ м и $h = 3,05$ м следующие коэффициенты в зависимости от характера наносов:

Крупный песок:

при

$$h = 1' \delta = 1,8—2,7,$$

при

$$h = 10' \delta = 0,95—1,2.$$

Тяжелый ил—мелкий песок:

при

$$h' = 1' \delta = 1,8—1,1,$$

при

$$h = 10' \delta = 0,62—0,95.$$

1) В. В. Чиков. Указ. раб., стр. 24.

Легкий ил:

при

$$h = 1' \quad \delta = 1,1-0,5,$$

при

$$h = 10' \quad \delta = 0,33-0,62.$$

Следовательно в окончательном виде формула может быть написана следующим образом:

$$V_{kp} = \delta \cdot c \cdot h^m \text{ фут/сек}, \quad (100)$$

где

δ — практический коэффициент — от 0,33 до 2,7,

$c = 0,84$.

$m = 0,64$.

Подбирая по характеру наносов в источнике орошения величину δ из предыдущих таблиц для различных типов их, мы получаем окончательную формулировку критической скорости:

ТАБЛИЦА 73.

Х а р а к т е р н а н о с о в	$V_{kp} = \delta \cdot c \cdot h^m$	
	Футов. изм.	Метр. изм.
Легкий ил		
для $h = 0,3 \text{ м}$	$V_{kp} = 0,67 h^{0,64}$	$= 0,45 h^{0,64}$
Очень мелкий песок		
для $h = 0,67-2,13 \text{ м}$	$V_{kp} = 0,84 h^{0,64}$	$= 0,55 h^{0,64}$
Мелкий песок		
для $h = 0,67-2,13 \text{ м}$	$V_{kp} = 0,92 h^{0,64}$	$= 0,62 h^{0,64}$
Крупный песок		
для $h = 0,67-2,13 \text{ м}$	$V_{kp} = 1,01 h^{0,64}$	$= 0,68 h^{0,64}$
Очень крупный песок		
для $h = 0,67-2,13 \text{ м}$	$V_{kp} = 1,09 h^{0,64}$	$= 0,73 h^{0,64}$

Получив в результате расчета размеров каналов величину h и имея сведения о характере наносов, определяют по формуле Кеннеди значение V_{kp} . Взяв из таблиц соответствующие грунта, в котором проведем канал, значение $V_{пред}$, сопоставляют эти две величины с полученной в результате расчета $V_{рас}$ по неравенству:

$$V_{kp} \leq V_{рас} \leq V_{пред}. \quad (101)$$

Если соблюдено отношение:

$$V_{кр} < V_{рас} < V_{пред}, \quad (102)$$

то канал рассчитан правильно, в противном же случае производят или увеличение или уменьшение величины $V_{рас}$.

Ж. Гидравлический расчет отверстий гидротехнических сооружений на оросительной и сбросной сетях (регуляторов, сифонов, перепадов, труб).

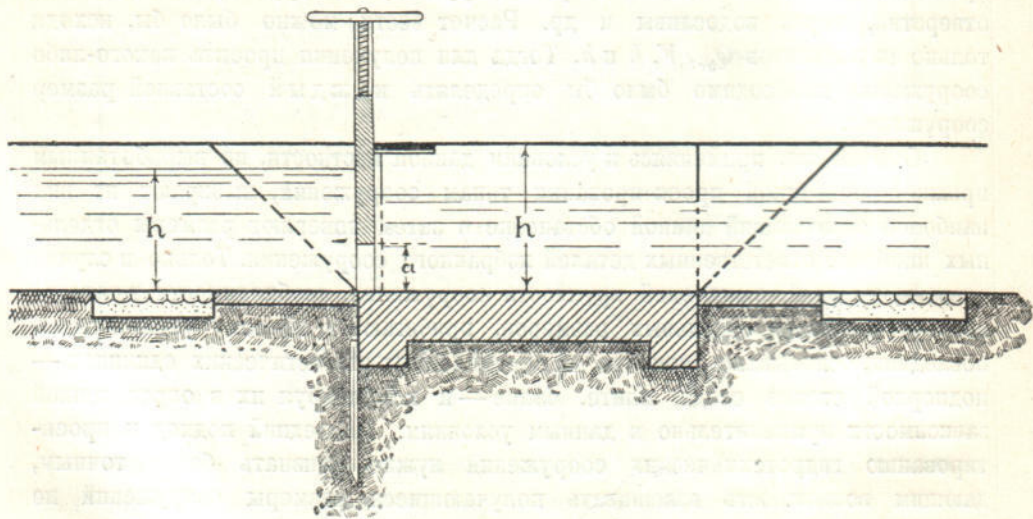
Основной деталью всякого гидротехнического сооружения на оросительной сети является его отверстие. величиной площади отверстия на-ряду с величиной средней для данного материала скоростью устанавливается его пропускная способность. В отличие от любого сооружения, находящегося на земле, гидротехнические сооружения имеют такие детали, которые тесным образом связаны с характером движения воды по сооружению. Помимо этих деталей в гидротехнических сооружениях имеется ряд других деталей, определение размеров коих ведется приемами обычного статического расчета. В настоящем отделе 1-го параграфа главы II-й мы укажем приемы определения расчетных размеров тех деталей отдельных сооружений, которые могут быть поверены с применением гидравлических формулировок и уравнений. Основой этого метода являются уравнения гидравлики — движения воды в открытых руслах, по трубам, истечения из отверстий, через водосливы и др. Расчет вести можно было бы, исходя только из элементов Q_b , V , b и h . Тогда для получения проекта какого-либо сооружения необходимо было бы определять каждый составной размер сооружения.

Обычно же, применяясь к условиям данной местности, по выработанным прежней практикой проектирования типам сооружений, выбирают из них наиболее отвечающий данной обстановке и затем поверяют размеры отдельных наиболее ответственных деталей избранного сооружения. Только в случае новизны условий, ожидаемой крупности сооружения, необходимости тщательного установления отдельных размеров, прибегают к точному установлению последних, основываясь, конечно, на определенных статистических единицах — подпорной стенке своде, плите, балке — и комбинируя их в определенной зависимости применительно к данным условиям. Последний подход к проектированию гидротехнических сооружений нужно признать более точным, дающим возможность взвешивать получающиеся размеры сооружений не только с точки зрения их прочности и устойчивости, но и с точки зрения их экономичности. Громоздкость вычислительной работы, отсутствие в иных случаях всего справочного для такой работы материала, необходимость определенной квалификации у проектирующего создают зачастую необходимость отказываться от этих методов и предпочесть метод выбора

конструкции, типа и поверки их нижеизлагаемыми приемами.

Реальная невозможность иметь под руками достаточный справочный материал, необходимость, зачастую, экономить время заставляют нас и в методах проверки искать упрощения (без вреда для точности работы) и ускорения расчетной работы. Конечно, возможно, например, длину флюتبета (пол сооружений, через которые движется то или иное количество воды) и его толщину определить совершенно точно, построив кривую фильтрации, рассчитав пол на изгиб и т. п. Но отсутствие справочных данных, наличие опытных коэффициентов позволяют нам рекомендовать вместе с английскими и американскими инженерами (Блей, Вильсон, Беллясис и др.) простейшие эмпирические формулы, связующие данный размер с условиями существования и действия сооружения. Эти формулы просты, вычисления их элементарны, доступны техникам со средней квалификацией и дают довольно точные результаты. Поэтому мы в дальнейшем будем стремиться применять их возможно шире. Этим не исключается возможность решения вопросов по более точным формулам, но для реальной обстановки действия малых сооружений и эмпирические формулы дают вполне удовлетворительные ответы.

1. Поверка отдельных деталей различных регуляторов¹⁾. Схема регуляторов, даваемая ниже, устанавливает следующие моменты проверки отдельных деталей его: а) размеры отверстия регулятора, б) толщина пола и в) длина пола.



Черт. 27. Схема продольного разреза шлюза-регулятора.

1) Регулятором называется гидротехническое сооружение, с помощью которого возможно регулировать количества воды, поступающие через него в канал, в начале которого и поставлен регулятор.

Отверстие регулятора определяется по следующей формуле:

$$Q_{br} = \mu \cdot ab \cdot \sqrt{2g(h - h_1)}, \quad (103)$$

где

μ — коэффициент расхода $= \infty 0,62 - 0,60$,

b — ширина отверстия в м,

a — высота поднятия щита = высоте отверстия в м,

h — глубина воды в подводящей части канала в м,

h_1 — глубина воды в отводящей части канала м,

g — ускорение силы тяжести $= 9,81$ м/сек².

Если $Q = Q_{br}$ — максимальному значению расхода головного сооружения при данных q_0 , η и ω , то величина a указывает на ту высоту поднятия щита, при которой, при прочих определенных условиях, этот расход может быть пропущен. Иногда, для большей уверенности в достаточности принятых размеров отверстия регулятора, вводят в величину расхода некоторый коэффициент запаса k^1), и тогда расчетная формула будет иметь следующий вид:

$$Q = \frac{\mu}{k} \cdot ab \cdot \sqrt{2g(h - h_1)}, \quad (104)$$

откуда можно определять, при заданных Q , μ , k , g , b , h и h_1 (или $h - h_1$), величину a :

$$a = \frac{Q \cdot k}{\mu \cdot b \cdot \sqrt{2g(h - h_1)}} \quad (105)$$

или при заданных Q , μ , k , g , a , h и h_1 определять значение величины b :

$$b = \frac{Q \cdot k}{\mu \cdot a \cdot \sqrt{2g(h - h_1)}}. \quad (106)$$

Чаще всего определяют: как высоко нужно поднять щит регулятора (или при каком поднятии щита регулятора), чтобы пропустить заданный расход при сохранении ширины отверстия регулятора равной ширине подводящего канала.

Величина k задается различной в зависимости от равномерности колебания Q . Л. Н. Лосиевский принимает ее равной 1,25. Помимо этого иногда проверяют подсчитанное по предыдущему отверстие регулятора на пропуск расхода при открытых щитах²⁾, принимая наличность какого-либо

1) Л. Н. Лосиевский и Н. Ф. Нефедов. Экономический железобетонный регулятор, стр. 8.

2) Л. Н. Лосиевский и Н. Ф. Нефедов. Указ. работ, стр. 8—9.

незначительного подпора (обычно = 0,10—0,21 м) и определяя скорость движения воды в этом случае из уравнения потеряннго напора по Фламману:

$$h' = \frac{V^2}{4g}, \quad (107)$$

где

V — средняя скорость в отверстии м/сек,

h' — потеря напора = напору, который нужно образовать за счет сужения отверстия, равная 0,10—0,21 м,

g — ускорение силы тяжести = 9,81 м/сек²,

Определив V по предыдущему, имея значение a из формулы 105, мы можем поверить величину b' по следующей формуле:

$$b' = -\frac{Q}{a \cdot 2\sqrt{2gh'}}. \quad (108)$$

Если в этом случае $b' < b$, то принятые размеры отверстия регулятора удовлетворительны. В том случае, когда величина b значительна, ее подразделяют на ряд частей устройством промежуточных опор. В этом случае ведется расчет отверстия между двумя смежными опорами. Формулы определений a и b будут иметь, при числе отверстий = n , следующий вид:

$$a = \frac{Q \cdot k}{n \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g(h-h_1)}}; \quad (109)$$

$$b = \frac{Q \cdot k}{n \cdot \mu \cdot a \cdot \sqrt{2g(h-h_1)}}, \quad (110)$$

а проверочная (по Фламману):

$$b = \frac{Q}{2na\sqrt{2gh'}}. \quad (111)$$

Таким образом в результате разрешения указанных формул мы получаем значения площади сечения отверстия, ширины и высоты (высоты поднятия щита) его.

Имея значение напора (глубины слоя воды в канале перед щитом регулятора), мы можем перейти к определению по эмпирическим формулам следующих элементарных размеров принятой конструкции регулятора — длины и толщины флютбета (пола регулятора).

Наименьшая толщина флютбета t может быть определена из формулы ¹⁾:

$$t = 0,56\sqrt{H}, \quad (112)$$

¹⁾ В. Г. Блей. Ирригационные сооружения, пер. 1923 г., стр. 178.

где

t — толщина флютбета в м;

H — разность напоров верхнего и нижнего бьефов (части пола регулятора) флютбета в м.

Для затопленного флютбета (случай регулятора) t определяется из следующей формулы:

$$t = \frac{4}{3} \cdot \frac{H - h_c}{q - 1}; \quad (113)$$

t — толщина флютбета м,

H — слой воды (наибольший) в регуляторе перед щитом в м,

h_c — фильтрационные потери напора, определяемые из формулы $h_{c.c} = El$, в м, где c — гидравлический коэффициент фильтрации (определяемый из табл. 74 стр. 140), где El — фильтрационный путь, равный длине внутреннего периметра флютбета по чертежу, включая сюда запуски, шпунтовые ряды, утолщения флютбета под опорами и пр.

q — удельный вес материала флютбета.

Для головных регуляторов — H приравнивается глубине высоких вод источника орошения; для мелких регуляторов H = глубине воды в регуляторе при Q_{br} наибольшем. Обычно t в мелких регуляторах выполняется не меньше 0,305 м, при чем если отверстие регулятора многопролетно, то флютбет утолщается под опорами в том случае, если для данного допускаемого предельного давления толщина окажется малой.

Проф. Н. Н. Павловский¹⁾ для определения толщины флютбета (в случае проникаемых оснований) дает формулы для двух типов флютбетов:

1. Для случая горизонтальной поверхности воды на водобойной части флютбета (и для случаев *„весьма малых уклонов... в каналах и реках“*...).

2. Для случая не горизонтального положения водной поверхности на водобойной части флютбета (случай быстротока).

Для этих двух случаев флютбета он принимает расчетные формулы для трех видов флютбета:

1. Для затопленного водобоя флютбета.

2. „ незатопленного водобоя флютбета.

3. „ сухого водобоя флютбета.

Если принять обозначения по Блею, то получим следующие формулы по проф. Н. Н. Павловскому.

¹⁾ Н. Н. Павловский. „Об определении толщины флютбета“, № 6 Известий Научно-Мелиорационного Института, стр. 58.

Горизонтальный водобой.

$$\text{Затопленный} - t = \frac{n(H - h_e)}{\rho - 1}. \quad (114)$$

$$\text{Незатопленный} - t = \frac{n(H - h_e - H'_2)}{\rho - 1}. \quad (115)$$

$$\text{Сухой} - t = \frac{n(H - h_e + H'_2)}{\rho - 1}. \quad (116)$$

Негоризонтальный водобой.

$$\text{Затопленный} - t = \frac{n(H - h_e + H'_2 - h_\phi)}{\rho - 1}. \quad (117)$$

$$\text{Незатопленный} - t = \frac{n(H - h_e + H'_2 - h_\phi)}{\rho - 1}. \quad (118)$$

В этих формулах (кроме вышеуказанных обозначений):

H'_2 — разность отметок горизонта нижнего бьефа и верха флютбета м.

H''_2 — разность отметок верха флютбета и горизонта нижнего бьефа м.

h_ϕ — глубина воды на флютбете в рассматриваемом сечении (в случае быстроготока) м.

n — коэффициент запаса прочности = 1,25—1,30—1,50.

Случаи, разбираемые Н. Н. Павловским, представлены на ниже-следующих схемах (черт. 28).

Длина флютбета зависит прежде всего от степени фильтрации под флютбет — следовательно, от пути фильтрации и от свойств грунта, служащего основанием флютбету. Таким образом, в простейшем случае, полагая фильтрацию пропорциональной напору в регуляторе, можно написать следующую зависимость:

$$L = c \cdot H^1), \quad (119)$$

где

L — длина флютбета, со включением в нее размеров запусков флютбета, шпунтового ряда, утолщений флютбета в местах расположения опор и пр. в м.

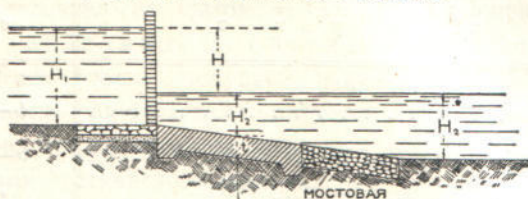
H — наибольший напор в регуляторе перед щитом в м.

c — гидравлический коэффициент фильтрации, зависящий от свойства грунта, значения его приводятся в таблице 74 на стр. 140²⁾:

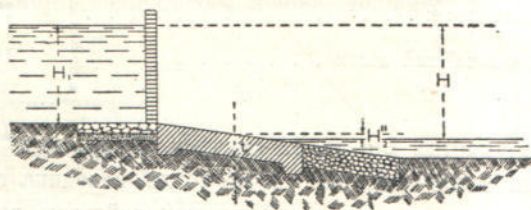
1) В. Г. Блей. Указ. работ, стр. 180.

2) Н. Н. Павловский. „Об определении толщины флютбета“, Изв. Научно-Мелиорационного Института № 6, стр. 55.

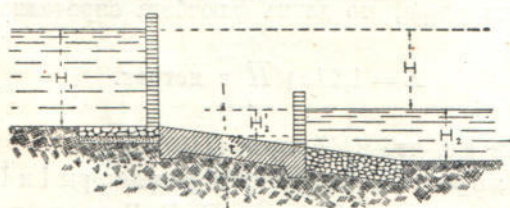
1. Случай затопленного водовоя



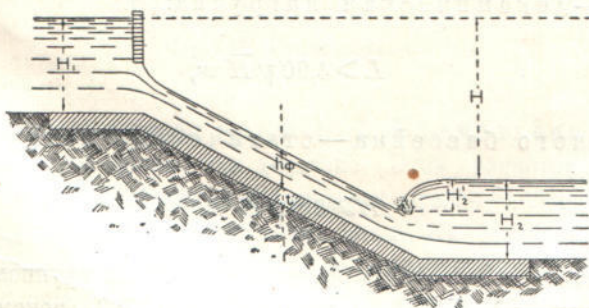
2. Случай незатопленного водовоя



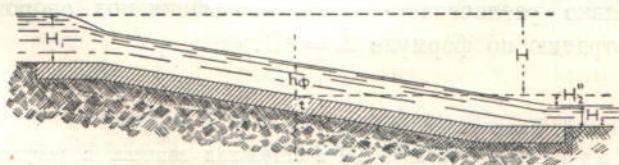
3. Случай сухого водовоя



4. Случай затопленного водовоя



5. Случай незатопленного водовоя



Черт. 28. Схемы продольных разрезов типов флютбетов.

ТАБЛИЦА 74.

Г р у н т	с
Голыш, галька	4—5
Глинистый грунт	5—9
Гравий и гравелистый песок	9
Грубо-зернистый песок	12
Мелкий песок	15
Ил, мельчайший песок	18

Эта формула уместна для таких случаев, когда вода на флютбет производит лишь статическое действие, т.-е. когда невелика скорость подхода к сооружению. Если же регулятор подвержен действию воды, подходящей к нему со значительной скоростью (промывные шлюзы, сбросные шлюзы) и создающей условия удара, то длина флютбета определяется по нижеследующей формуле ¹⁾:

$$L = 1,24c\sqrt{H} \text{ в метрах.} \quad (120)$$

Обозначения те же, что в формуле (119).

Инж. В. В. Гаврилов, проектируя регуляторы I и II поряд. для Чуйской оросительной системы, в согласии с В. Г. Блеем, принял следующие формулы для определения длины флютбета ²⁾—для выхода воды из под щитов—динамическая нагрузка:

$$L \geq 4,90\sqrt{H} \text{ м,} \quad (121)$$

для подпорного бассейна—статическая нагрузка:

$$L \geq 2,8\sqrt{H} \text{ м.} \quad (122)$$

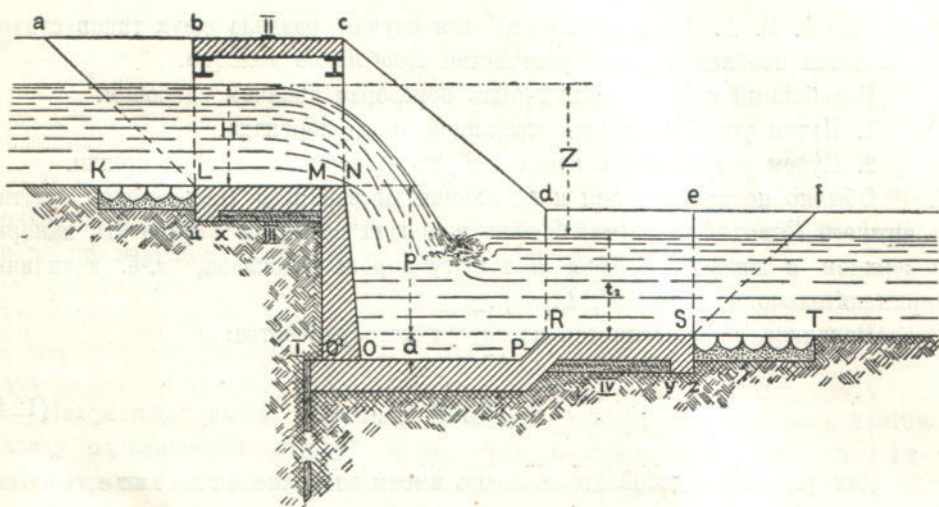
В небольших регуляторах—на распределителях групповых, а тем более околотковых—В. Блей (указ. раб., стр. 180) рекомендует, имея в виду статическую нагрузку и малые напоры, применять длину флютбета равной несколько увеличенной ширине основания под опорой, проверяя ее лишь на фильтрацию по формуле $L = cH$.

¹⁾ В. Г. Блей. Указ. работ, стр. 179.

²⁾ В. В. Гаврилов. Рукопись „Пояснительная записка к регуляторам I и II порядка“.

Л. Н. Лосиевский¹⁾ рекомендует устраивать понурную часть (перед щитом) флютбета $= 5H$, а водобойную (горизонтальная за щитом) и водосливную (наклонная за щитом) $= 15H$. В вышеприведенных формулах (119—122) величина L определяет собой длину всех 3-х частей флютбета (понурной, водобойной и водосливной). Таким образом изложенным определяются размеры отверстия, толщины и длины пола регуляторов. Что же касается остальных деталей, то размеры их определяются методами статического расчета.

II. Проверка отдельных деталей перепада на оросительном канале. Гидравлической проверкой устанавливаем тип конструкции перепада, размеры водобойного ящика, толщину и длину флютбета.



Черт. 29. Схема перепада.

Благодаря исследованиям проф. Б. А. Бахметьева расчет отдельных деталей перепада разработан детально. Этим расчетом, исходящим из теории неравномерного движения в открытых руслах²⁾, связываются отдельные детали перепада с характером движения воды. Им составлены для облегчения расчетов соответствующие таблицы и номограммы, руководствуясь которыми возможно очень быстро и легко определять размеры отдельных деталей перепада. Наряду с точным определением размеров перепада по Бахметьеву, мы имеем указания на эмпирические зависимости у Блея.

¹⁾ Л. Н. Лосиевский и Н. Ф. Нефедов. Указ. работ, стр. 7.

²⁾ Проф. Б. А. Бахметьев. К вопросу о расчете перепадов (о формах сопряжения ниспадающей с водослива струи с уровнем нижнего бьефа), 1916 г., стр. 5—22.

Из методов расчета проф. Б. А. Бахметьева, изложенных в цитиров. работе, устанавливаем, что если принятая конструкция перепада имеет такое отношение $\frac{z}{p}$ (см. чертеж 29), которое вызывает наличие струи с отогнанным прыжком, т.е. если при этой конструкции имеет место неравенство:

$$\frac{z}{p} > \left(\frac{z}{p}\right)_0, \quad (123)$$

где $\frac{z}{p}$ — относительный перепад по размерам принятой конструкции, $\left(\frac{z}{p}\right)_0$ — относительный перепад по теоретическим кривым (из брошюры проф. Б. А. Бахметьева) для случая раздела двух типов струи, то является необходимость в устройстве водобойного колодца.

Водобойный колодец может быть образован двояким способом:

1. Путем углубления дна отводящей части перепада.
2. Путем устройства в отводящей части перепада особой стенки.

Обычно по конструкции и по элементам верхнего (подводящей части) и нижнего (отводящей части) бьефов перепада возможно установить напоры в верхнем и нижнем бьефах и высоту порога водослива, т.е. величины (применительно к схеме) H , t_2 , и p .

Величина z определяется из следующего равенства:

$$z = H + p - t_2. \quad (124)$$

Для условий водобойного колодца имеем значение относительного перепада:

для 1-го типа

$$\frac{z}{p+d} = \frac{H+p-t_2}{d+p} < \left(\frac{z}{p}\right)_0, \quad (125)$$

для 2-го типа

$$\frac{z}{p} = \frac{H+p-(c+H_2)}{p} < \left(\frac{z}{p}\right)_0. \quad (126)$$

В дальнейшем необходимо произвести сравнения $\frac{z}{p}$ с $\left(\frac{z}{p}\right)_0$ по кривым проф. Бахметьева. Что касается величины d (глубина водобойного колодца), то таковая, ввиду того, что в уравнение

$$\frac{z}{p+d} < \left(\frac{z}{p}\right)_0$$

входят два неизвестных z и d , должна быть получена путем подбора, каковой начинают с принятием $\left(\frac{z}{p}\right)_0$ равным $\left(\frac{z}{p+d}\right)$ для условия покрытой струи. Величина c (высота стенки), при условии $H = H_2$, определяется из неравенства:

$$\frac{H+p-c-H}{p} < \left(\frac{z}{p}\right)_0 \quad (127)$$

или

$$\frac{p-c}{p} < \left(\frac{z}{p}\right)_0, \quad (128)$$

откуда

$$\frac{c}{p} > 1 - \left(\frac{z}{p}\right)_0 \quad (129)$$

или

$$c > p - \left(\frac{z}{p}\right)_0 \cdot p, \quad (130)$$

Помимо этого высота стенки может оказаться таковой, что при ней образуется вторая (меньшая) струя с отогнанным прыжком. Поэтому, получив по предыдущему значение c , проверяют ее по неравенству:

$$\frac{z}{c} < \left(\frac{z}{p}\right)_0. \quad (131)$$

Изложенное выше касается, главным образом, водосливных плотин и ввиду одинаковости явлений может быть целиком перенесено на случай перепада на оросительном канале. Некоторое отличие определяется в получении значения H , каковое для случая водобойного колодца на перепаде оросительного канала подсчитывается, исходя из условий движения *через свободный лоток малого уклона*. Для этого случая движения удельная энергия на водосливном ребре будет определяться из уравнения¹⁾:

$$H = \frac{3}{2} \cdot h_{кр}, \quad (132)$$

где

H — глубина воды перед водосливом в м,

$h_{кр}$ — глубина воды на водосливном ребре в м.

Для этого случая расход будет равен расходу через водослив с широким порогом при напоре H , коэффициенте расхода $m = 0,385$ и коэффициенте скорости $\varphi \approx 1$ (коэффициенты взяты из таблиц проф. Б. А. Бахметьева).

¹⁾ Б. А. Бахметьев. Указ. работ, стр. 18.

Расход на единицу ширины водослива перепада будет¹⁾:

$$q = \sqrt{g} \cdot h_{кр}^{\frac{3}{2}} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (133)$$

откуда

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \text{ м}, \quad (134)$$

а при $q = \frac{\text{расход водослива}}{\text{ширина перепада}}$

$$H = 1,5 \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \text{ м}. \quad (135)$$

Ширина отверстия перепада может быть вычислена по ниже-следующей формуле²⁾:

$$b = \frac{3Q}{2\mu\sqrt{2g}(H - h_0)^{\frac{3}{2}}}, \quad (136)$$

где

b — ширина отверстия перепада в м,

Q — наибольший расход перепада $\text{м}^3/\text{сек}$,

μ — коэффициент расхода = 0,385,

H — глубина воды перед перепадом м,

h_0 — потеря напора (в силу наличия скорости подхода V равная $\frac{V_0^2}{2g}$ в м.

Длина водобойного колодца при настоящем состоянии знаний о характере и размерах ниспадающих с водослива струи точно не может быть определена. Для намечания длины водобойного колодца исходят из условия истечения из отверстия в атмосферу. В этом случае расстояние точки падения струи на пол водобойного колодца до подошвы перепада будет определяться по следующему уравнению:

$$y = \frac{2}{\sqrt{2g}} \cdot V_0 \cdot \sqrt{H}, \quad (137)$$

где

y — расстояние точки падения воды до подошвы перепада в м,

V_0 — максимальная скорость в сечении порога водослива $\text{м}/\text{сек}$,

H — высота перепада в м.

Нередко применяют формулу: $y = 3\sqrt{Hr}$, где H — напор в верхнем бьефе, а r — высота перепада.

1) Б. А. Бахметьев. Указанная работа. стр. 18.

2) Пояснительная записка к проекту орошения Кальджирской степи — перепад на распределителе № 1 с $H = 4,50$ саж.

Американский инженер Вильсон для определения глубины водобойного колодца рекомендует следующую формулу:

$$x = 0,51 \sqrt[3]{Hd}; \quad (138)$$

x — глубина водобойного колодца в м,

H — расстояние от порога водослива до дна водобойного колодца в м,

d — глубина слоя переливающейся воды в м.

По его же данным длину водобойного колодца нужно делать равной 6—8 глубинам слоя переливающейся воды.

Что касается размеров пола перепада, то Блей ¹⁾ дает следующие формулы:

$$\text{толщина пола} - t = 0,56 \sqrt{H+d}, \quad (139)$$

$$\text{длина пола} - L = 2(H+d), \quad (140)$$

где

H — высота стенки перепада в м,

d — глубина слоя переливающейся воды в м.

Обе эти формулы применимы для перепадов без водобойных колодцев.

Блей не рекомендует устройство водобойных колодцев, а советует устраивать ниже перепада водосливные стенки, помещая их на таком расстоянии от гребня главного водослива, чтобы падающая вода всегда попадала в образованный стенкой водобойный туюфак ²⁾. В этом случае расстояние стенки от водосливного ребра должно определяться из формулы:

$$L = 3,64 H \sqrt{d}, \quad (141)$$

L — расстояние стенки от водосливного ребра главного водослива в м,

H — высота стенки перепада в м,

d — глубина воды над порогом водослива, увеличенная на напор, образовавшийся вследствие наличия скорости подхода к перепаду в м.

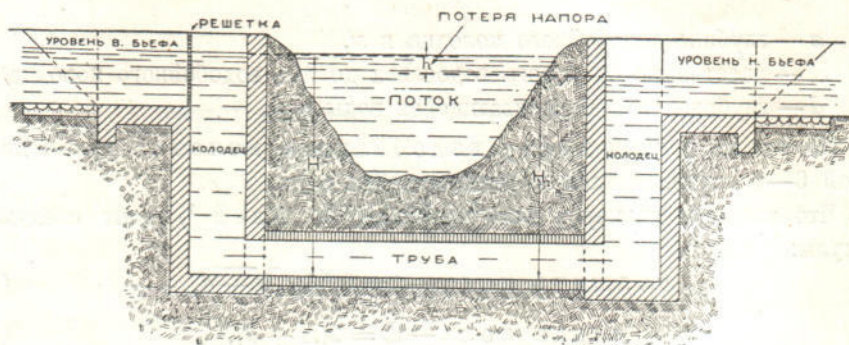
III. Проверка отдельных деталей сифона на оросительном канале. Сифон (чаще всего в практике оросительного дела — обратный, с подземным коленом и при наличии двух — верхнего и нижнего — вертикальных колодцев) обычно рассчитывается, как труба. Поэтому к нему применимы приемы расчета коротких труб.

Что касается формы поперечного сечения, то она определяется прежде всего величиной Q_{\max} : при значительном расходе реки, канала, естественного водотока сифон делается из нескольких, параллельно друг другу заложённых труб; при небольших потоках устраивается одна труба.

¹⁾ В. Г. Блей. Указ. работа, стр. 178.

²⁾ В. Г. Блей. Указ. работа, стр. 181.

Выбор профиля (поперечного) трубы сифона определяется также и материалом, из которого выполняется сифон. Сифон работает (см. схему) при условии, если горизонт воды в верхнем колодце и подводящей части канала стоит выше, чем горизонт воды в нижнем колодце и в отводящей



Черт. 30. Схема сифона.

части канала, на некоторую величину, определяемую значением потерь напора при движении воды с известной скоростью по сифону. Поэтому основная часть расчета, это — определение потерь напора в сифоне.

Ход расчета следующий:

а. Определение размера поперечного сечения сифона. При данном (обусловливаемом режимом канала или водотока, который необходимо провести под каналом, находящемся в одной плоскости с первым) расходе Q_{max} площадь поперечного сечения сифона определяется из формулы:

$$Q_{max} \cdot F_{min} \cdot V_{пред}, \quad (142)$$

при чем величиной $V_{пред}$ задаются, беря таковую для данного материала, из которого выполнен сифон. Зная $V_{пред}$, имея Q_{max} , мы определяем F_{min} с пропускной способностью на расход Q_{max} :

$$F_{min} = \frac{Q_{max}}{V_{пред}}. \quad (143)$$

Лучше всего, при правильности режима потока, пропускаемого через сифон, применять круглую форму сечения, как обладающую наибольшим R (гидравлич. радиусом) и наименьшим P (смоченным периметром); если же в сифон пропускается поток с неравномерным колебанием расхода — от максимума до 0 — (например ливневые воды естественного тальвега при пересечении последнего оросительным каналом), то возможно применение эллиптических или овоидальных профилей. Дороговизна изготовления эллиптических и овоидальных профилей труб сифона

заставляет этот тип рекомендовать только при больших расходах, трубы же малых сифонов, как правило, выполняются по круглому профилю.

В дальнейшем необходимо определить потери напора, вызываемые следующими 3 причинами:

1. Сопротивлениями, вызываемыми при входе в колено сифона.
2. Сопротивлениями, вызываемыми трениями в колене сифона.
3. Сопротивлениями, вызываемыми скруглениями колена сифона (если колено трубы имеет ось прямую линию, то эта причина отсутствует).

Из курса общей гидравлики имеем для этих сопротивлений, пропорциональных величине $\frac{V_{пред}^2}{2g}$, следующие коэффициенты:

для входа в трубу:

$$\text{по Вейсбаху} — \zeta = 0,505 + 0,303 \sin \delta + 0,226 \sin^2 \delta^1), \quad (144)$$

где δ — угол оси трубы с нормалью к стенке резервуара;

для трения в колене:

$$\text{по Вейсбаху} — \zeta_r = 0,0036 + \frac{0,0023678}{\sqrt{V_{пред}}}^2), \quad (145)$$

где $V_{пред}$ — м/сек;

для скруглений колена:

$$\text{по Вейсбаху} — \zeta' = 0,131 + 0,163 \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{7}{2}})^2), \quad (146)$$

где r — радиус трубы в м, R — радиус скругления трубы в м.

Для определения величины $4\zeta_r$ Вейсбах составил следующую таблицу⁴⁾ (приводим в сокращении):

ТАБЛИЦА 75.

$V_{пред}$ м/сек	Десятичные доли м									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Значения $4\zeta_r$									
1	0,0239	0,0234	0,0230	0,0227	0,0224	0,0221	0,0219	0,0217	0,0215	0,0213
2	0,0211	209	208	206	205	204	203	202	201	200
3	0,0199	198	197	196	195	195	194	193	193	192
4	0,0191	191	190	190	189	189	188	188	187	187

¹⁾ А. И. Астров. Указ. работ, стр. 230.

²⁾ А. И. Астров. Указ. работ, стр. 218.

³⁾ А. И. Астров. Указ. работ, стр. 234.

⁴⁾ А. И. Астров. Указ. работ, стр. 218.

Если труба имеет осью своей прямую линию, то в формуле значения

$$\zeta' - R = \infty \quad \zeta' = 0.$$

Для определения величины ζ' при различных $\frac{r}{R}$, где R — радиус скругления колена сифона, а r — радиус круглой трубы колена сифона, Вейсбах предложил следующую таблицу²⁾:

ТАБЛИЦА 76.

$\frac{r}{R}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ'	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294	0,440	0,660	0,977	1,408	1,978

Получив по вышеприведенным формулам значения величин ζ , ζ_r и ζ' определяют общую потерю напора в округленном колене сифона по следующей формуле:

$$h = h' + h'' + h''' = (\zeta + \zeta_r + \zeta') \frac{V_{\text{пред}}^2}{2g}, \quad (147)$$

где

$$h' = \zeta \frac{V_{\text{пред}}^2}{2g}, \quad h'' = \zeta_r \frac{V_{\text{пред}}^2}{2g} \quad \text{и} \quad h''' = \zeta' \frac{V_{\text{пред}}^2}{2g}.$$

Блеем предложен следующий способ определения величины суммы потерь напора:

Потеря напора при входе в колено сифона:

$$h' = \left[\left(\frac{1}{c_1} \right)^2 - 1 \right] \frac{V_{\text{пред}}^2}{2g}, \quad (148)$$

где

h' — потеря напора в м,

c_1 — коэффициент скорости, изменяющийся в зависимости от формы поперечного профиля трубы и равный, например:

минимум — 0,62,

в среднем — 0,8 для квадрат. отв.,

для прямоуг. $\left(\frac{\text{ширина}}{\text{высота}} = 2 \right) = 0,824.$

Часто принимают $c_1 = 0,5$.

V — скорость в колене сифона.

²⁾ А. И. Астров. Указ. работ, стр. 235.

Потеря напора скоростная:

$$h'' = \frac{l \cdot V^2}{c^2 \cdot R}, \quad (149)$$

где

h'' — потеря напора вследствие трения,

l — длина колена сифона,

V — скорость в колене сифона,

c — коэффициент, вычисленный по Гангиле-Куттеру для данного материала и формы поперечного профиля колена сифона,

R — гидравлический радиус колена сифона.

И наш расчет и расчет Блея не имеют в виду скорости подхода к сифону. По Блею, в случае наличия скорости подхода V_1 , формула 148 видоизменяется следующим образом:

$$h' = \left[\left(\frac{1}{c_1} \right)^2 - 1 \right] \frac{V^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}. \quad (150)$$

Разность горизонтов в колодцах (следовательно, в отводящей и приводящей частях канала или потока) целиком затрачивается на пополнение потерь напора, поэтому по прилагаемой схеме (черт. 30) мы можем написать:

$$H_1 - H_2 = h' + h'' + h''' = h \quad (151)$$

или

$$H_1 = (h' + h'' + h''') + H_2, \quad (152)$$

т.е. на величину суммы потерянных напоров горизонт воды в подводящей к сифону части канала должен стоять выше горизонта воды в отводящей части канала.

Этим положением определяется глубина колодцев сифона — головного и хвостового.

Расчет головного (приемного) колодца сифона складывается из двух действий:

1. Определение ширины колодца — измерению его в плоскости чертежа.

2. Определение глубины колодца (расстояния от порога колодца до его дна).

Первое определяется при условии закрытия колодца чугунной решеткой, сужающей его поперечное сечение на большую или меньшую величину α .

Тогда формула расхода через решетку прямоугольного колодца шириной b и длиной (= ширине дна подводящей части канала, потока) l при условии сжатия, выражаемого коэффициентом m , будет такова:

$$Q_{max} = \alpha \cdot m \cdot b l \cdot V, \quad (153)$$

откуда

$$b = \frac{Q_{max}}{\alpha \cdot m \cdot l \cdot V}, \quad (154)$$

где

b — ширина колодца,

l — длина колодца,

α — коэффициент уменьшения решетки,

m — коэффициент сжатия,

V — скорость движения воды по колодцу.

Что касается глубины колодца x , то по Вильсону она выражается следующей формулой:

$$x = 0,51 \sqrt[3]{Hd}, \quad (155)$$

где

x — глубина колодца в м,

H — разность горизонтов на пороге и в колодце м,

d — глубина слоя в колодце в м (обычно задаваемая).

IV. Проверка отдельных деталей труб. Для проведения под насыпями (оградительные валы, дорожные насыпи и пр.) каналов служат трубы различных размеров и конструкций, выполненных из разнообразных материалов.

Подвергаются гидравлической проверке отверстие и длина фильтрационного пути, длина же отмоеток входного и выходного отверстий трубы определяется из опытных данных. Помимо этого труба подобно колену сифона подсчитывается с определением потерь напора.

Отверстие трубы (короткого трубопровода) может быть определено из формулы:

$$D = \sqrt[5]{\frac{64}{2g\pi^2} \cdot \zeta_r \cdot \sqrt[5]{\frac{Q^2}{i}}}, \quad (156)$$

где

D — диаметр трубы (в том случае, если сечение трубы круглого очертания) в м,

Q — расход, на который рассчитывается труба, в м³/сек,

i — гидравлический уклон = $\frac{H}{L}$, где H — разность отметок начала и конца трубы, а L — длина трубы,

ζ_r — коэффициент сопротивления трению по Вейсбаху.

Данная формула применяется в том случае, когда скоростью не задаются, а ее нужно определить из данных Q и L . После установления величины диаметра трубы, определяют из формулы ¹⁾ (при непринятии во внимание сопротивления при входе):

$$h = H = \frac{64}{2g\pi^2} \cdot \zeta_r \cdot \frac{Q^2 L}{D^5}, \quad (157)$$

¹⁾ Наша рукопись: „Практическая Гидравлика“.

где обозначения, как в предыдущем случае. Результат решения этой формулы, разделенный на L , даст нам величину i . Получив значение D , мы по формуле

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (158)$$

можем определить значение скорости движения воды по трубе. Для определения ζ , по формуле Вейсбаха берем его по таблице 75 в предположении, что скорость в трубе достигнет предельного разрушающего для данного материала значения или близкого к нему.

Все остальные детали определяются из статического расчета.

§ 2. ПРИНЦИПЫ И ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ НОРМЫ И КОЭФФИЦИЕНТЫ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ И СБРОСНОЙ СЕТЕЙ.

В настоящей работе мы не будем останавливаться на деталях статического расчета гидравлических сооружений в целом и их составных частей, отсылая интересующихся этими вопросами к курсам и руководствам по гидротехническим сооружениям. Нам необходимо применительно к основным задачам только дать ряд эмпирических формул и уравнений статического расчета деталей сооружений, применяемые в практике нормы и коэффициенты и указать схему проектирования сооружений.

Большинство гидротехнических сооружений состоит из следующих основных деталей:

1. Подпорная стенка (стенки, откосы).
2. Свод (перекрытие).
3. Опора (устой, бык).
4. Балка, плита (флютбет, пол, плоские перекрытия).
5. Ферма того или иного типа.

Эти детали в большинстве гидротехнических сооружений находятся в том или ином видоизменении. В дальнейшем дело конструктора объединить эти отдельные детали в целое сооружение применительно к данным условиям работы этих деталей. Обычно ход расчета может идти двумя путями:

1. Путем определения прочных и устойчивых размеров при данных внешних силах и обстановке воздействия этих сил на данную деталь.
2. Путем определения при данных размерах детали величины нагрузок, кои могут быть приложены к ней без опасности разрушения детали.

Первый способ применяется при проектировании новых сооружений, второй путь служит для проверки на прочность и устойчивость избранного сооружения.

Нас в настоящее время интересует первый способ — способ определения прочных и устойчивых размеров отдельных деталей гидротехнического сооружения при заданных силах и условиях.

А. Подпорные стенки.

Из основ строительной механики нам известно, что подпорная стенка будет прочной и устойчивой лишь тогда, когда кривая давлений будет целиком находится в пределах сечения стенки. В этом случае обеспечиваются следующие условия прочности и устойчивости стенки ¹⁾:

1. Отсутствие в сечениях стенки растягивающих усилий.
2. Непревышение наибольшего сжимающего напряжения в каждом сечении стенки двойного допускаемого для данного материала напряжения.
3. Угол наклона равнодействующей давления воды и веса к горизонтальным сечениям стенки не должен превосходить угла трения материала, дабы не появлялись скальвающие напряжения.

Подпорные стенки в гидротехнических сооружениях находятся при следующих типах нагрузок:

1. Односторонняя нагрузка — давление земли.
2. Односторонняя нагрузка — давление воды.
3. Двусторонняя нагрузка — давление земли с обеих сторон.
4. Двусторонняя нагрузка — давление воды и давление земли.
5. Двусторонняя нагрузка — давление воды с обеих сторон.

Первый тип встречается при следующих условиях — тело плотины с засыпкой одной стороны (в данном случае на засышке определенный слой воды).

Второй тип — чаще всего встречается в плотинах (без подсыпок), в стенках акведука, на внешнем откосе каналов по косогору и пр.

Третий тип встречается в случае плотин с подсыпкой с обеих сторон, в крыльях всех гидротехнических сооружений и др.

Четвертый тип встречается в случае боковых стенок всех гидротехнических сооружений, стенок перепадов и др.

Пятый тип встречается в случае водосливных плотин, перегородающих сооружения регуляторов.

В зависимости от характера нагрузок видоизменяется и метод расчета (см. черт. 31).

а) Нагрузка односторонняя — давление земли. Для этого случая подпорных стенок возможно рекомендовать для ширины гребня стенки две формулы ²⁾:

¹⁾ В. Г. Блей. Указ. работ, стр. 66.

²⁾ Ж. Дюбоск. Расчет и конструкция подпорных стенок. Пер. Е. В. Близняка и С. А. Апостолова, стр. 19—20.

1. Для случая дополнительной нагрузки — одно давление земли.

$$C = H \left[- \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{2m} \right) \pm \sqrt{\frac{2}{3\pi} \delta \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{3n^2} - \frac{1}{Rm^2}} \right], \quad (159)$$

где:

C — ширина гребня подпорной стенки,

H — высота стенки — высота земли,

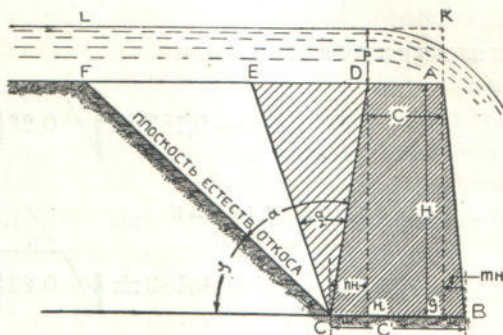
n — откос внешней грани,

m — откос внутренней грани,

π — вес м^3 материала стенки,

δ — вес м^3 земли,

α — угол дополнительный до 90° к углу естественного откоса.



Черт. 31. Подпорная стенка с давлением земли, приложенным к внутренней грани, и дополнительной нагрузкой над гребнем стенки (перепад).

Примем для обычных типов стенок:

α — для сухой глины — 45° .

π — для бетона с кирпичн. щебнем — 1800 кг/м^3 ,

„ камня (известн. и песчаника) — 2000 кг/м^3 ,

„ кирпичной кладки насухо — 1440 кг/м^3 ,

δ — для земли глинистой сухой — 1600 кг/м^3 ,

$n = 10$.

$m = 6$.

Тогда формула 159 может быть написана следующим образом:

$$\text{для бетона с кирпичн. щебнем} \quad C = 0,317H, \quad (160)$$

$$\text{для кирпичной кладки} \quad C = 0,374H, \quad (161)$$

$$\text{для каменной кладки} \quad C = 0,286H. \quad (162)$$

2. Для случая с дополнительной нагрузкой

$$C = H \left[- \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{2m} \right) \pm \sqrt{\frac{2\delta}{3\pi} \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \left(\delta + \frac{2p}{H} \right) + \frac{1}{3n^2} - \frac{1}{12m^2}} \right]. \quad (163)$$

Обозначения те же, что и в формуле 159, а p — глубина переливающейся воды.

При данных предыдущей формулы получаем:

для бетонной кладки

$$C = H \left[-0,183 \pm \sqrt{0,31 \left(1600 + \frac{2p}{H} \right) + 0,001} \right], \quad (164)$$

для кирпичной кладки

$$C = H \left[-0,183 \pm \sqrt{0,26 \left(1600 + \frac{2p}{H} \right) + 0,001} \right], \quad (165)$$

для каменной кладки

$$C = H \left[-0,183 \pm \sqrt{0,22 \left(1600 + \frac{2p}{H} \right) + 0,001} \right]. \quad (166)$$

Если одна или обе грани стенки вертикальны, то в формулах 159 и 163 нужно величины m и n приравнять нулю.

Что же касается ширины подпорной стенки у ее подошвы — ширины основания подпорной стенки в плоскости чертежа, то на основании приведенных формул значение ее будет выражаться следующим образом:

$$b = C + H \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{n} \right) \quad (167)$$

для обеих наклонных граней.

Формулы 159 и 163 выведены Ж. Дюбоском для случая статического равновесия подпорной стенки и при введении в равенства момента сил давления моментам веса стенки коэффициента устойчивости = 2 (иногда принимают этот коэффициент равным 1,5).

Устойчивость подпорной стенки с размерами, подсчитанными по вышеприведенным формулам при условии одностороннего давления земли, будет достигнута полная. Вместе с тем необходимо установить поскольку устойчивы и прочны отдельные части этой стенки. Поэтому необходимо определить положение кривой давления в подпорной стенке. Способы построения кривой давления — точек пересечения ее с горизонтальными линиями раздела отдельных частей стенки (швами стенки) — известны из строительной механики, поэтому установим основные черты кривых давления для устойчивых стенок:

1. Кривая давления всем своим очертанием должна находиться в пределах тела подпорной стенки.

2. Точка пересечения равнодействующей с основанием стенки по Блею (для этого типа нагрузки) должна находиться в расстоянии, равном $\frac{1}{3}$ ширины основания стенки от внешней грани стенки.

Наиболее экономным профилем подпорной стенки является, по Блею, профиль с наклоном лицевой грани $= \frac{1}{4}$, с наклонной внутрь задней гранью, при ширине основания, равной $(0,4H - 1,2)$ м.

Если для стенки будут соблюдены все указанные выше условия, то стенка будет устойчива в отношении сил, стремящихся ее опрокинуть. Некоторые грунты, особенно находящиеся в состоянии значительной влажности (влажная глина), могут создать благоприятные условия для скольжения стенки по грунту при наличии давления той или иной величины. Усиливается это явление при значительной высоте стенки и при отсутствии фундамента у стенки. Поэтому стенки, сдерживающие большие нагрузки, проверяются на скольжение. Скольжение нейтрализуется весом стенки. Условия устойчивости стенки на скольжение формулируется следующим образом: скольжения стенки по грунту не будет, если равнодействующая давлений на стенку будет составлять с нормалью к основанию стенки угол меньший угла трения грунта. Если мы будем иметь вес стенки $G = 95\,000$ кг, коэффициент трения для обыкновенного грунта (тангенс угла трения этого грунта) $= 0,57$, то давление P будет безопасным в том случае, если

$$P < 0,57 \times 95\,000 = 54\,150 \text{ кг.}$$

Наконец, необходима проверка грунта на разрушение его вследствие давления вертикальной слагающей давлений — веса стенки.

Если:

λ — допускаемое прочное сопротивление грунта на единицу площади кг/см²,

$b \times l$ — площадь основания стенки м²,

G — вес стенки м³,

$\frac{2}{3}$ — некоторый коэффициент,

то для условий прочности грунта имеем следующую формулировку:

$$\lambda > \frac{2}{3} \cdot \frac{G}{bl}. \quad (168)$$

Таким образом подпорные стенки, входящие в состав почти всех гидротехнических сооружений и подверженные одностороннему давлению земли, будут прочными, если будут соблюдены следующие основные условия:

1. Кривая давлений должна находиться в пределах сечения стенки.
2. Точка пересечения равнодействующей давлений на стенку с основанием стенки должна быть не ближе к лицевой грани стенки, чем на $\frac{1}{3}$ ширины основания.

3. Угол, образуемый равнодействующей давлений на стенку с плоскостью основания стенки, должен быть менее угла трения грунта, на котором покоится стенка.

4. Напряжения, вызываемые равнодействующей давлений на основание стенки, не должны превосходить прочных сопротивлений раздроблению грунта, служащего основанием для стенки.

б) Нагрузка односторонняя — давление воды. Стенки подпорные, сдерживающие определенные массы воды, давящие на нее с одной стороны, в основном должны быть рассчитаны по тем же принципам, что и для случая одностороннего давления земли, с изменением лишь величин δ и α применительно к этому телу. Но при значительных объемах воды вместо второго основного условия устойчивости и прочности стенки необходимо ввести следующую новую формулировку¹⁾:

„...линии давления, т.-е. линии, соединяющие центры давлений отдельных сечений, приходились, как в случае опорожненного водохранилища, так и в случае заполненного водохранилища, на границе или внутри средней трети сечения“.

Для высоких стенок особенно важно также следствие изложенной выше формулировки — отсутствие где бы то ни было в сечении растягивающих усилий.

Формулы, определяющие значения толщины стенки, в этом случае остаются в силе, притом мы будем иметь:

$$\varphi = 0, \quad \alpha = 90^\circ, \quad \frac{\alpha}{2} = 45^\circ,$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 1, \quad \frac{\pi}{\delta} = \rho$$

удельный вес материала стенки.

Поэтому формулы 159 и 163 примут следующий вид:

без дополн. нагрузки:

$$C = H \left[- \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{2m} \right) \pm \sqrt{\frac{2}{3\rho} + \frac{1}{3n^2} - \frac{1}{12m^2}} \right], \quad (169)$$

с дополнит. нагрузкой:

$$C = H \left[- \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{2m} \right) \pm \sqrt{\frac{2}{3\rho} \left(\delta + \frac{2p}{H} \right) + \frac{1}{3n^2} - \frac{1}{12m^2}} \right]. \quad (170)$$

¹⁾ В. Г. Блей. Указ. работ, стр. 65—66.

В рассматриваемых нами случаях формулы будут иметь следующий вид:

а. *Без дополнительной нагрузки:*

бетон с кирпичным щебнем:

$$C = 0,425H \text{ при } \varrho_1 = 1,8, \quad (171)$$

кирпичная кладка:

$$C = 0,495H \text{ при } \varrho_2 = 1,44, \quad (172)$$

каменная кладка:

$$C = 0,391H \text{ при } \varrho_3 = 2,0. \quad (173)$$

б. *С дополнительной нагрузкой:*

бетона с кирпичным щебнем:

$$C = H \left[-0,183 \pm \sqrt{0,37 \left(1000 + \frac{2p}{H} \right) + 0,001} \right], \quad (174)$$

кирпичной кладки:

$$C = H \left[-0,183 \pm \sqrt{0,46 \left(1000 + \frac{2p}{H} \right) + 0,001} \right], \quad (175)$$

каменной кладки:

$$C = H \left[-0,183 \pm \sqrt{0,33 \left(1000 + \frac{2p}{H} \right) + 0,001} \right]. \quad (176)$$

Таким образом устанавливаем, что в случае одностороннего давления воды стенки должны получаться, при одной и той же высоте, толще, чем в случае одностороннего давления земли. Расчет на скольжение подпорной стенки по грунту и прочности грунта с точки зрения сопротивления весу стенки в этом случае не изменяется.

Что касается случаев двусторонней нагрузки (1 — давление земли и давление воды и 2 — давление воды с обеих сторон), то можно для простоты принять, что стенка, рассчитанная на одностороннюю нагрузку или земли или воды, будет прочна и устойчива и в случае двусторонней нагрузки, ибо в последнем случае мы имеем дело с двумя давлениями, действующими на стенку в противоположных направлениях. Следовательно одно из давлений, если оно имеется, но не принимается нами в расчет, придает известный запас прочности стенке.

При незначительных размерах сооружений такое допущение не вызовет чрезмерного увеличения профиля стенки и не отзовется на экономичности его. Другое дело при значительных размерах стенок: в этом случае является необходимость в точном учете влияния „противодавления“ (давление на грань, противоположную той, на которую давит основное — наибольшее давление). Размеры руководства не позволяют нам остановиться в деталях на этих случаях нагрузки; интересующихся этим вопросом мы отсылаем к соответствующим работам.

Подпорные стенки как составная часть почти всех гидротехнических сооружений являются наиболее важной частью их, — своды, опоры, балки, фермы и плиты, — эти статические системы встречаются реже в практике гидротехнического дела, поэтому мы на этих деталях сооружений остановимся менее подробно.

Б. С в о д ы.

Эту составную часть гидротехнических сооружений будем рассматривать совместно с устоями и промежуточными опорами, ввиду определенной связи между размерами сводов, устоев и опор. Сводь (а также устои и быки) встречаются чаще всего в акведуках. Этот тип сооружений в последнее время стал применяться с большим успехом при устройстве плотин: плотины в виде перемычки перпендикулярно оси тальвега или потока постепенно заменены были сначала плотинами сводчатыми, передающими все давление на опоры — в данном случае на берега реки, а в последнее время многопролетными сводчатыми плотинами с промежуточными быками. Отличие сводов сводчатых плотин от сводов любого моста заключается только в одном: во-первых, ось свода находится в горизонтальной или наклонной к горизонту плоскости, во-вторых, профиль свода и его ось располагаются в вертикальной плоскости. В остальном имеется полное подобие, поэтому методы расчета размеров свода, например, какого-либо моста в основе аналогичны методам расчета многопролетных сводчатых плотин и отличаются лишь деталями.

Не касаясь расчета сводчатых многопролетных плотин в деталях, мы приведем те основные положения, которые Блей¹⁾ считает необходимым положить в основу проектирования этого типа плотин:

1. Величина пролетов — по экономическим соображениям — не должна быть меньше высоты гребня над основанием.
2. Толщина быков должна быть по крайней мере достаточной для размещения пят двух сводов. (По его мнению, толщина быка должна быть около $\frac{1}{5}$ пролета.)
3. Радиус кривизны и стрела свода должны быть соответственно — первый 12 м, а вторая $\frac{1}{4}$ пролета.

¹⁾ В. Г. Блей. Указ. работ, стр. 153.

4. Толщину свода Блей считает равной:

$$C = 0,56 \frac{\sqrt{H}}{\rho} \quad (\text{для „тяжелых“ сводчатых плотин}). \quad (177)$$

Толщина свода зависит от радиуса кривизны внешней поверхности свода и от допускаемого для материала свода напряжения.

Приведем рекомендуемую Блеем эмпирическую формулу толщины свода в ключе:

$$t = n \sqrt{r}, \quad (178)$$

где

t — толщина свода в м,

r — его радиус кривизны в м,

$n > 0,22$.

Эта формула применима для мостов. Для акведуков Блей рекомендует увеличить n до 0,28, тогда

$$t = 0,28 \sqrt{r} \text{ м.} \quad (179)$$

Условие устойчивости всякого (в том числе и плотинного) свода, как уже сказано выше, состоит в прохождении линии давления в своде в пределах средней его трети.

Линия давления, а также величина его легче всего определяются графическими построениями обычного типа. Поэтому, не касаясь их, перейдем к определению толщины устоев свода.

Толщину устоя свода ¹⁾ Блей рекомендует определять из формулы по справочнику Тротуайна (Trautwine):

$$t = 0,2r + 0,1v + 0,6, \quad (180)$$

где

t — толщина свода в м,

r — радиус кривизны свода в м,

v — стрела подъема свода в м.

Эта формула применима для обычного типа сводов и для условий обычной нагрузки. Если же свод, как в случае акведуков, загружен тяжелой нагрузкой — слоем воды толщиной d , — то t будет выражаться следующей формулой ²⁾:

$$t = 0,2r + 0,1v + 0,6 + 0,2d. \quad (181)$$

Эта величина толщины устоя относится к его верхнему сечению, воспринимающему непосредственно давление свода и нагрузки; ниже к осно-

¹⁾ В. Г. Блей. Указ. работ, стр. 175.

²⁾ В. Г. Блей. Указ. работ, стр. 176.

ванию — устой должен утолщаться — его задняя грань должна иметь уклон $= \frac{0,02s}{0,5v}$, где v — стрела подъема свода, а s — пролет свода.

Что касается профиля быков, то устойчивым и неподверженным растягивающим усилием профиль получится тогда, когда равнодействующая давления и веса быка не выходит из средней трети его. Средняя же толщина быка, по Блей, определяется по следующей формуле ¹⁾:

$$t = 0,56 \sqrt{s}, \quad (182)$$

где s — пролет свода в м.

Толщина быка зависит не только от величины пролета, но и от глубины воды перед сооружением (если бык является, например, составной частью регулятора).

В силу этого при определении толщины быков Блей рекомендует пользоваться следующей таблицей, полученной эмпирически:

ТАБЛИЦА 77.

Пролет <i>s</i> м	Г л у б и н а в о д ы <i>d'</i>							
	4,5 м		6 м		7,5 м		9 м	
	<i>M</i>	<i>t</i>	<i>M</i>	<i>t</i>	<i>M</i>	<i>t</i>	<i>M</i>	<i>t</i>
3	0,25	0,75	0,27	0,81	0,29	0,87	0,31	0,93
4,5	0,24	1,08	0,26	1,17	0,28	1,26	0,30	1,35
6	0,23	1,38	0,25	1,50	0,27	1,62	0,29	1,74
7,5	0,20	1,50	0,24	1,80	0,26	1,95	0,28	2,01

M — множитель, t — толщина в метрах.

Для головных регуляторов толщина быка определяется по нижеследующей формуле (по Блей):

$$t = 0,4s \text{ м.} \quad (183)$$

Для выполненных в Индии акведуков на сводах Блей указывает следующие значения толщины быков ²⁾:

¹⁾ В. Г. Блей. Указ. работ, стр. 166.

²⁾ В. Г. Блей. Указ. работ, стр. 172.

ТАБЛИЦА 78.

Наименование акведука	Пролет с м	\sqrt{s}	Толщина быка Тм	$\frac{T}{s}$
Будки	9,0	3,0	1,8	0,200
Пора-Наля	9,0	3,0	1,5	0,166
Керам	6,0	2,45	1,2	0,200
Гэнерам	12,0	3,5	1,8	0,150
Кали-Нади	18,0	4,3	2,1	0,110

В. ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Заканчивая обзор принципов и основных норм и коэффициентов статического расчета гидротехнических сооружений, приведем некоторые сведения о допускаемых напряжениях и нагрузках, применяемых в гидротехнических сооружениях ¹⁾:

ТАБЛИЦА 79.

№ мат. по порядку	Род материала	Допуск. напр. на растяжение	Допуск. напр. на сжатие	Допуск. напр. на скалывание	Допуск. напр. на изгиб		Допуск. напр. на скалыв.		Допуск. напр. на сжатие
					Сжа- тие	Раст.	Парал. волок. I	Перп. волок. Т	
Килограмм на кв. сантиметр									
1	Литое железо	1 000	—	750	1 000		—	—	—
2	Железн. отливки	850	—	637,5	850		—	—	—
3	Литая сталь	1 400	—	1,050	1 400		—	—	—
4	Стальн. отливки	1 190	—	895,5	1 190		—	—	—
5	Обыкновен. чугун	150	750	200	750	250	—	—	—
6	Ковкий чугун	250	800	250	800	350	—	—	—
7	Гранит	1,5	45	3	—	—	—	—	—
8	Кварцит	2,0	60	3,5	—	—	—	—	—
9	Известняк тверд.	0,5	2,5	1,5	—	—	—	—	—
10	Красный кирпич сух.	—	17	—	—	—	—	—	—
11	„ „ нос.	—	8,5	—	—	—	—	—	—
12	Кирпичн. кладка п. раст.	—	11	—	—	—	—	—	—
13	Бетон. кладка 1:3	—	25	4	33	2,5	—	—	—
14	„ „ 1:5	—	20	3	26	2	—	—	—
15	„ „ 1:9	—	11	2	15	—	—	—	—
16	Дуб	1 200	600	—	800		120	200	250
17	Береза	1 100	550	—	700		100	120	200
18	Сосна	1 000	500	—	650		80	150	200
19	Ель	800	400	—	500		80	120	150

¹⁾ Е. В. Близняк и Б. Ю. Калинович. Материалы к вопросу о расчетных данных для проектирования гидротехнических сооружений, 1912 г.

Что касается допускаемых давлений на грунты различного характера, то для некоторых из них данные приводятся в нижеследующей таблице:

ТАБЛИЦА 80.

№ № по по- рядку	Наименование грунтов	Допуск напряж. кг/см ²
1	Мягкий, не предохраненный от выпучивания . . .	0,25
2	Мягкий, пропитанный водой, предохраненный от выпучивания	0,50
3	Слабый глинистый грунт и мокрый песчаный . . .	0,8—1,0
4	Аллювий	1,0—1,2
5	Мягкий мел	1,1—1,6
6	Глина и мергель весьма влажные, песок мощностью не < 1,0 м, предохраненный от выпучивания .	1,50
7	Песчаник, который можно раскрошить рукой . . .	1,6—1,9
8	Песчано-глинистый	2,0—3,0

§ 3. ПРИМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ ОРОСИТЕЛЬНЫХ И СБРОСНЫХ КАНАЛОВ И НЕКОТОРЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ.

А. РАСЧЕТ КАНАЛА.

Для того чтобы увязать в одно целое рассмотренное нами в отдельных частях предыдущих параграфов, приведем примеры расчета оросительной и сбросной сетей и какого-либо из гидротехнических сооружений на оросительной сети. При проектировании оросительной сети нам прежде всего необходимо установить те количества воды, которые требуются для того или иного типа хозяйства, являющегося наиболее доходным в условиях данного района. Затем, по получении данных о характере рельефа оросительной системы—плана в горизонталях,—трассируют оросительную и сбросную сеть, руководствуясь указаниями настоящей работы. Применительно к трассе разделяют все каналы на категории в зависимости от их оросительной способности. Такую разбивку возможно сделать лишь по установлении того или иного типа водопользования применительно к настоящей работе. Установив определенную очередность, получают для каждого канала ту наибольшую пропускную способность, которую имеет канал данной категории. Пропускная способность канала, как мы убедились

из данных, приводимых нами в настоящей работе, связана с числом поливных единиц (струй), которое данный канал должен пропустить, дабы дать командуемой им площади в определенный срок определенное количество воды. При трассировке каналов, особенно крупных — магистраль, ветви ее, групповые, — приходится руководиться в значительной мере двумя требованиями:

1. Выбором наивыгоднейшего уклона канала.
2. Экономичностью его трассы — минимальностью земляных работ.

Эти требования выполняются для тех каналов, которые имеют достаточно крутой уклон (наибольший допустимый для данного грунта), но не требующий сооружения перепадов или тех или иных одежд, позволяющих предохранять канал от размыва, проходят в минимальных насыпях и имеют наименьшую при данных условиях длину. Установив применительно к сказанному уклоны каналов и зная предельную допускаемую скорость для данного грунта, задаются некоторой скоростью для первого решения задачи — о величине живого сечения. Применительно к грунтам, а также к возможной форме эксплуатации и режиму канав сети задаются величиной коэффициента шероховатости. В дальнейшем производят подбор формы живого сечения и поперечного профиля канала (в выемке, в полунасыпи, в полувыемке, в насыпи, по косогору). При установлении формы живого сечения стремятся соблюсти наивыгоднейшую его форму (при данных заложениях откосов его) — максимальную пропускную способность при минимальности площади сечения. Выбрав форму сечения, переходят к установлению наивыгоднейшей глубины канала, связав ее не только с гидравлическими требованиями, но и с возможностью вывода воды во все точки командуемой им площади. Получив таким образом элементы сечения и скорости, производят проверку соответствия принятых размеров с размерами, получаемыми из алгебраической зависимости настоящей работы. Если соблюдаются при принятых размерах условия: 1) наибольшей пропускной способности, 2) $V_{кр} < V_{рас} < V_{пред}$, то канал рассчитан правильно и потребует наименьших при данных условиях затрат на сооружение его.

Пример.

Задание. Необходимо запроектировать в среднем суглинистом грунте для правильно эксплуатируемой системы оросительный групповой канал, работающий при очереди на площадь в 10 водопользовательных единиц, с уклоном дна по трассе $i = 0,0025$.

Данные принимаемые.

Способ полива — по бороздкам.

$$k = 0,00003 \text{ м/сек.}$$

$$m = 0,5.$$

$$n = 2 - m = 1,5.$$

$$i = 0,0025.$$

$$C = 50\sqrt{i} = 50 \times 0,05 = 2,2.$$

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 0. & x &= 60,0 \text{ м.} \\
 \xi &= \sqrt{\frac{\alpha' + \varphi'}{\alpha' + 2\sqrt{1 + \varphi'}}}. & b &= 30,0 \text{ м.} \\
 \alpha' &\approx 0,8. & N &= \frac{b}{b_0 + a}. \\
 \varphi' &= 1 \quad \varphi = 1,5. & a &= 0,60 \text{ м.} \\
 b_0 &= 0,15 \text{ м.} & \eta &= 0,6. \\
 & & V_{\text{пред}} &= 0,9 \text{ м/сек.}
 \end{aligned}$$

Формулы и уравнения.

1. Глубина воды в бороздках:

$$h' = \sqrt{\frac{k \cdot n \cdot x}{1,4 \cdot C \left[1 - \left(\frac{\gamma}{100} \right)^{\frac{n}{2}} \right]}}.$$

2. Поливная струя:

$$p = 1000 NC \xi h'^2 \cdot (b_0 + \varphi' h) \text{ л/сек.}$$

3. Расход-нетто:

$$Q_{nt} = n \cdot p.$$

4. Расход-брутто:

$$Q_{br} = \frac{Q_{nt}}{\eta}.$$

5. Живое сечение:

$$F = \frac{Q_{br}}{V_{np}}.$$

6. Средняя скорость:

$$V_{pac} = c \sqrt{R} \cdot \sqrt{i}.$$

7. Наивыгоднейшее h :

$$h = \frac{1}{\sqrt{2\sqrt{1 + \varphi^2} - \varphi}} \cdot \sqrt{F}.$$

8. α для $\varphi = 1\frac{1}{2}$, $\alpha = 0,61$ (экономич. сечение).

9. Значение C :

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{i} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}}.$$

10. Условие незаиления:

$$V_{kp} = 0,62 \text{ м}^{0,64} \text{ фум/сек.}$$

*Решение задачи.**а. Способ непосредственного решения:*

1. Определение глубины воды в бороздках:

$$h' = \sqrt{\frac{k \cdot n \cdot x}{1,4 C \left[1 - \left(\frac{\gamma}{100} \right)^{\frac{n}{2}} \right]}} = \sqrt{\frac{0,00003 \cdot 1,5 \cdot 60}{1,4 \cdot 1,5}} \approx 0,036 \text{ м.}$$

2. Определение величины поливной струи:

$$p = NC\xi h'^2 (b_0 + \varphi' h') = 80 \cdot 2,5 \cdot 0,71 \cdot 0,186 \cdot (0,036)^2 = \\ = 0,03423 \text{ м}^3/\text{сек} = \mathbf{34,23 \text{ л/сек.}}$$

3. Определение расхода-нетто для группы в 10 вод. ед.:

$$Q_{nt} = n \cdot p = 10 \cdot 34,23 = 342,3 \text{ л/сек} = \mathbf{0,3423 \text{ м}^3/\text{сек.}}$$

4. Определение расхода-брутто для группы в 10 вод. ед.

$$Q_{br} = \frac{Q_{nt}}{\eta} = \frac{0,3423}{0,6} = \mathbf{0,5705 \text{ м}^3/\text{сек.}}$$

5. Первое приближенное определение
- F
- :

$$F = \frac{Q_{br}}{V_{npod}} = \frac{0,5705}{0,9000} = 0,634 \text{ м}^2.$$

6. Определение наивыгоднейшей глубины канала:

$$h = \frac{1}{\sqrt{2\sqrt{1+\varphi^2}-\varphi}} \cdot \sqrt{F} = 0,69 \sqrt{F} = \mathbf{0,551 \text{ м.}}$$

7. Определение ширины канала по дну при эконом. сечении:

$$b = 0,61h = 0,61 \cdot 0,551 = \mathbf{0,336 \text{ м.}}$$

8. Определение величин
- R
- и
- \sqrt{R}
- :

$$P = b + 2h\sqrt{1+\varphi^2} = 0,336 + 2 \cdot 0,551\sqrt{3,25} = \mathbf{1987 \text{ м;}}$$

$$F = \mathbf{0,634 \text{ м}^2};$$

$$R = \frac{F}{P} = \frac{0,634}{1,987} = \mathbf{0,32 \text{ м.}}$$

$$\sqrt{R} = \mathbf{0,57.}$$

9. Определение коэффициента C :

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{i} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} = \frac{23 + \frac{0,00155}{0,0025} + \frac{1}{0,0225}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{0,0025}\right) \frac{0,0225}{0,57}} \approx 35.$$

10. Определение расчетной средней скорости:

$$V_{рас} = 35 \cdot 0,57 \cdot 0,05 \approx 1,00 \text{ м/сек.}$$

Примечание. Превышение $V_{рас}$ над $V_{пред}$ в 0,09 м/сек практически не имеет значения, ибо реально эта скорость, в силу возможного зарастания травой (увеличения n с 0,0225 до 0,030) и возможным случайным увеличениям шероховатости канала, едва ли будет получена. Кроме того 90% разница между $V_{рас}$ и $V_{пред}$ могла образоваться в большей своей части за счет допускавшихся округлений. Возможно в силу изложенного допускать предельное значение скорости.

11. Проверка на заиливание:

$$h = 0,551 \text{ м.}$$

По таблице 73 настоящей работы примем значение критической на заиливание скорости:

$$V_{кр} = 0,62 \cdot h^{0,64} \text{ м/сек} = 0,62 \sqrt[3]{(0,55)^2} = 0,415 \text{ м/сек.}$$

Следовательно:

$$V_{кр} < V_{рас} = V_{пред}.$$

12. Проверка пропускной способности:

$$Q_{рас} = F \cdot V = 0,634 \cdot 1,00 = 0,634 \text{ м}^3/\text{сек} > 0,5705 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Следовательно:

$$Q_{рас} > Q_{бр}.$$

Таким образом при заданных величинах канал запроектирован: 1) с достаточной пропускной способностью, 2) с достаточной средней скоростью, 3) с отсутствием возможности заиливания, 4) с отсутствием возможности размывания и 5) с экономичным типом сечения, наибольшей пропускной способностью (наименьшим количеством земляных работ) и наименьшей смоченной поверхностью (наименьшими потерями на фильтрацию).

б. Способ подбора по таблицам и номограммам.

Для этого способа будем пользоваться номограммами, составленными инж. Н. В. Мاستицким под ред. инж. В. А. Васильева для материалов по проекту орошения земель в долине р. Чу (для саженных измерений).

Заданы:

$$Q = 2,51 \text{ м}^3/\text{сек}, \quad i = 0,0025, \quad V_{np} = 0,89 \text{ м/сек}, \\ \varphi = 1\frac{1}{2}, \quad n = 0,0225.$$

При таких данных величина площади живого сечения будет равна:

$$F = \frac{2,51}{0,89} = 2,79 \text{ м}^2.$$

Следующая таблица ¹⁾ дает значения h и b :

ТАБЛИЦА 81.

h	b	h	b	h	b	h	b
0,57	0,20	0,46	0,60	0,38	1,00	0,31	1,40
0,54	0,30	0,44	0,70	0,36	1,10	0,30	1,50
0,51	0,40	0,42	0,80	0,34	1,20	0,29	1,60
0,48	0,50	0,40	0,90	0,32	1,30	0,28	1,70

Откинем все значения h и b , дающие отношение:

$$\alpha = \frac{b}{h} > 1,0,$$

и попробуем приблизиться к экономическому виду сечения. Тогда наиболее подходящими (для данного $\varphi = 1,5$) будут:

ТАБЛИЦА 82.

$b \text{ м}$	$h \text{ м}$	α
0,43	1,21	0,35
0,64	1,15	0,56
0,85	1,19	0,75

¹⁾ В. А. Васильев. Графические таблицы для расчета каналов, табл. 11.

Наиболее близко α к $\alpha = 0,61$ (для экономического типа сечения при $\varphi = 1,5$) при $b = 0,64$ м и $h = 1,15$ м, на каковом и остановимся.

Для подобранных b и h из таблицы 20 устанавливаем значения R для $b = 0,64$ м и $h = 1,28$ м (ближайшая кривая значений R), имеем — $R = 0,64$. Производим проверку:

$$F = (0,64 + 1,5 \cdot 1,15)1,15 = 2,71 \text{ м}^2,$$

$$P = 0,64 + 2,30\sqrt{3,25} = 4,79 \text{ м},$$

$$R = \frac{2,710}{4,790} \approx 0,57,$$

$$\sqrt{R} = 0,75.$$

Определяем значение C для саженных мер:

$$C = \frac{23 + \frac{1}{0,0225} + \frac{0,00155}{0,0025}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{0,0025}\right) \frac{0,0225}{0,75}} \approx 40,$$

$$V = 40 \cdot 0,75 \cdot 0,05 = 1,50 \text{ м/сек},$$

$$Q = 2,71 \times 1,50 = 4,065 \text{ м}^3/\text{сек} > 2,518 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Б. Гидравлическая проверка размеров некоторых гидротехнических сооружений.

1. Регулятор. а. Отверстие. Примем, что на канале, нами только что рассчитанном, имеется регулятор — в голове этого канала. Таким образом необходимо пропустить через регулятор:

$$Q \approx 0,57 \text{ м}^3/\text{сек}$$

со скоростью подхода

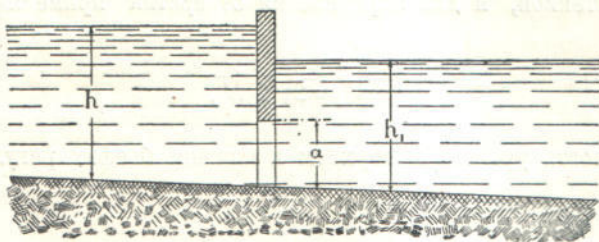
$$V = 1,00 \text{ м/сек}.$$

Глубина канала (в подводящей к регулятору части) $h = 0,55$ м и ширина этой части канала по дну:

$$b \approx 0,34 \text{ м}.$$

Подводящую часть регулятора выполним с шириной $B = 1,5$ м. Установлено расчетом, что в магистральном канале глубина воды $h = 0,95$ м.

Тогда, по черт. 32:



Черт. 32. Схема щитового отверстия регулятора.

$$h - h_1 = 0,95 - 0,55 = 0,4 \text{ м},$$

$$B = 1,5 \text{ м}$$

и

$$a = \frac{k \cdot Q}{\mu \cdot B \cdot \sqrt{2g(h - h_1)}},$$

где

a — высота поднятия щита в м,

$$k = 1,$$

$$Q = 0,57 \text{ м}^3/\text{сек},$$

$$\mu = 0,62$$

$$h = 0,95 \text{ м}, \quad h_1 = 0,55 \text{ м}.$$

Подставив цифровые значения в предыдущую формулу, получаем:

$$a = \frac{0,57}{0,62 \cdot 1,5 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,4}} = \frac{0,57}{2,6} \approx 0,22 \text{ м}.$$

При таком поднятии щита будет пропущен расход

$$Q = 0,57 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Скорость, полученная в результате напора $h - h_1 = 0,4 \text{ м}$, будет равна $2,8 \text{ м/сек}$, что вызывает необходимость выполнения регулятора из бетона, для какового возможно допускать скорости в $2,44 - 3,05 \text{ м/сек}^1$. В дальнейшем необходимо поверить отверстие регулятора на пропуск $Q_{\max} = 0,57 \text{ м}^3/\text{сек}$ при условии полного открытия щитов. В этом слу-

¹⁾ И. И. Знаменский. Указ. работ, стр. 50 (№ 2 Изв. Научн.-Мелиорат. Инст.).

чае отверстие регулятора нужно считать, как водослив (затопленный) с широкой стенкой, и для определения отверстия применяют следующие формулы:

$$V = 2\sqrt{2gh'}, \quad (201)$$

где

h' — разность уровней в верхнем и нижнем бьефах регулятора.

Примем

$$h' = 0,2 \text{ м},$$

тогда

$$V = 2\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2} = 3,96 \text{ м/сек},$$

$$b' = \frac{Q}{2h_1 V \sqrt{2gh'}}, \quad (202)$$

где

b' — ширина отверстия регулятора в м,

h_1 — горизонт воды в верхнем бьефе в м,

Q — расход воды в м³/сек,

h' — разность уровней верхнего и нижнего бьефов в м.

Для нашего случая

$$h' = 0,55 \text{ м}, \quad Q = 0,57 \text{ м}^3/\text{сек}, \quad h' = 0,2 \text{ м}.$$

Тогда

$$b' = \frac{Q}{2 \cdot 0,55 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2}} \approx 0,26 \text{ м};$$

так как

$$B > b'(1,5 > 0,26),$$

то отверстие рассчитано правильно.

б. Толщина флютбета. Для определения толщины флютбета воспользуемся формулой Блея (см. форм. 113 настоящей работы):

$$t = \frac{4}{3} \cdot \frac{H - h_c}{q - 1},$$

где

t — толщина флютбета в м,

$$H = 0,95 \text{ м},$$

$$h_c = \frac{\Sigma l}{c} = \frac{8,5}{12} = 0,71 \text{ м},$$

$$q = 1,8,$$

$$\Sigma l = 8,5 \text{ м},$$

c — для суглинка 12;

тогда:

$$t = \frac{4}{3} \cdot \frac{0,95 - 0,71}{0,8} = 0,4 \text{ м}.$$

Вычисленная толщина флютбета может быть принята нами лишь на длине водобойной части; в остальных частях флютбета толщина его может быть уменьшена до 50%.

в. Длина флютбета. Для нашего случая (выход воды из-под щита и динамическая нагрузка) применим формулу:

$$L \geq 4,80\sqrt{h}$$

или, при

$$h = 0,95 \text{ м,}$$

$$L = 4,80\sqrt{0,95} = 4,80 \times 0,97 = 4,66 \text{ м.}$$

II. Сифон. а. Диаметр. Еще ниже перепада на рассчитанном нами канале расположен под небольшим тальвегом сифон с разностью отметок верхнего бьефа сифона и дном тальвега в 1,95 м и с длиной колена

$$L = 25,0 \text{ м.}$$

Сифон должен пропускать расход

$$Q = 0,57 \text{ м}^3/\text{сек,}$$

при чем при определении его пропускной способности необходимо учесть возможность прорыва магистрального канала и проход воды значительного расхода. Это обстоятельство мы учитываем, вводя некоторый коэффициент запаса $k = 1,5$. Конструкция сифона — круглое сечение, в виде бетонной трубы с закруглением посредине при радиусе R закругления = 2,6 м. Сифон отходит от верхнего колодца с углом к вертикальной стенке его $\delta = 98^\circ$. Допускаемая предельная на размыв скорость V принимается нами = 2,8 м/сек. Отверстие сифона определится из следующей формулы:

$$F = \frac{kQ}{V_{\text{пред}}},$$

где

$$k = 1,5,$$

$$Q = 0,57 \text{ м}^3/\text{сек,}$$

$$V_{\text{пред}} = 2,8 \text{ м/сек.}$$

Отсюда:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{1,5 \cdot 0,57}{2,8} \approx 0,204 \text{ м}^2$$

и

$$d = 0,52 \text{ м.}$$

б. Уклон колена сифона. Определяем уклон i_0 колена сифона, который должен быть придан ему, дабы создалась определенная величина энергии, достаточная для определения сопротивления:

- 1) при входе в колено сифона,
- 2) при закруглении колена сифона,
- 3) общего трения.

Величины сопротивлений:

а) при входе

$$\xi = 0,505 + 0,303 \sin \delta + 0,226 \sin^3 \delta = 0,551,$$

б) на закруглении

$$\xi' = 0,131 + 0,163 \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{7}{2}} = 0,131,$$

в) общего трения

$$\xi_r = 0,0036 + \frac{0,0023678}{\sqrt{V_{пред}}} = 0,020.$$

Отсюда Σ потерь напора:

$$h = (\xi + \xi' + \xi_r) \frac{V_{пред}^2}{2g} = (0,551 + 0,131 + 0,020) \frac{(2,8)^2}{2 \cdot 9,81} = 0,281 \text{ м.}$$

Определяем уклон:

$$i_0 = \frac{0,281}{25} \approx 0,011.$$

в. Ширина верхнего колодца сифона. Примем:

коэффициент сжатия

$$\mu = 0,64,$$

% сужения сечения решеткой

$$n = 75\%.$$

Пользуемся формулой:

$$a = \frac{100 \cdot k \cdot Q}{\mu \cdot n \cdot b \cdot V_{пред}}.$$

Подставляя соответствующие значения, имеем:

$$a = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 0,57}{0,64 \cdot 75 \cdot 0,34 \cdot 2,8} = 0,46 \text{ м.}$$

2. Глубина водяной подушки верхнего колодца. Глубина колодца определяется рельефом местности. Разность уровней воды верхнего бьефа сифона и верхнего колодца $h' = 1,8$ м. Слой воды, переливающийся через водосливное ребро колодца $= h_{кр}$ (при $Q = 0,57$ м³/сек) = **0,37** м.

Тогда

$$x = 0,51 \sqrt[3]{h'h_{кр}} = 0,51 \cdot \sqrt[3]{1,8 \cdot 0,37} = \mathbf{0,42 \text{ м.}}$$

III. Труба. На канале с расходом $Q = 0,57$ м³/сек установлена труба в месте пересечения каналом насыпи железной дороги. Труба бетонная с круглым сечением, с осью, наклоненной под известным углом к горизонту, и длиной $L = \mathbf{32,0}$ м. Уровень воды в приводящем к трубе канале имеет отметку +25,55; уровень воды в отводящем канале имеет отметку +25,35. Предельную скорость $V_{пред}$ для бетонной трубы принимаем равной **2,8** м/сек.

Диаметр трубы определяем сначала в предположении, что:

сопротивление при входе $\xi_e = 0$,

особые сопротивления $\Sigma \xi = 0$.

Тогда диаметр трубы d , при скорости в трубе $V_{пред} = \mathbf{2,8}$ м/сек и при скорости подхода $V_e = 0$, определяется из следующей формулы:

$$d = \sqrt[5]{\frac{64 \cdot \xi_r}{2g\pi^2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{Q^2 \cdot L}{h}},$$

где

$$\xi_r = \mathbf{0,005} \text{ (см. таблицу 75),}$$

$$Q = \mathbf{0,57 \text{ м}^3/\text{сек}},$$

$$L = \mathbf{32,0 \text{ м}},$$

$$h = 25,55 - 25,35 = \mathbf{0,2 \text{ м.}}$$

Тогда после выполнения подстановок и решения получаем:

$$d = \mathbf{0,61 \text{ м.}}$$

Произведем теперь проверку достаточности имеющегося напора $h = \mathbf{0,2}$ м для пропуска заданного расхода при условии учета сопротивлений при входе и особых. Проверку производим по формуле:

$$h = \left(1 + \xi_e + \Sigma \xi + \xi_r \cdot \frac{4L}{d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4}.$$

После соответствующей подстановки получаем:

$$h = \mathbf{0,48 \text{ м.}}$$

Следовательно подсчитанный диаметр недостаточен для пропуска заданного расхода. В этом случае способом последовательного подбора подходим

к истинному значению, при имеющейся разности отметок верхнего и нижнего бьефа.

По упрощении и подстановке для правильно рассчитанной трубы мы должны иметь следующее равенство:

$$38,69d^4 = 7,8 + \frac{3,31}{d}.$$

Примем

$$d = 0,8 \text{ м},$$

получаем

$$15,86 > 11,94;$$

принимаем

$$d = 0,75 \text{ м},$$

получаем

$$12,38 > 12,21.$$

Разница незначительна, поэтому принимаем окончательно

$$d = 0,75 \text{ м}.$$

В. РАСЧЕТ (ДЕТАЛЬНЫЙ) ПЕРЕПАДА—ЕГО РАЗМЕРОВ И ПРОЧНОЙ И УСТОЙЧИВОЙ КОНСТРУКЦИИ.

На магистральном канале оросительной системы необходимо устроить бетонный перепад. Необходимо спустить воду с верхнего бьефа с отметкой 36,20 м на нижний бьеф, имеющий отметку 33,50 м. Канал проложен в суглинистом грунте.

Расход канала (наибольший) $Q_{\max} = 7,75 \text{ м}^3/\text{сек}$. Уклоны подводящей и отводящей частей канала $i = 0,0009$. Скорость движения воды по каналу $V_{\text{рас}} = 0,85 \text{ м/сек}$. Глубина в отводящей части канала на 0,75 м меньше, чем в приводящей части канала. Для данных условий принимаем: $\varphi = 0,95$, $m = 0,385$, $\gamma_{\text{кл}} = 2000 \text{ кг/м}^3$ (уд. в. = 2,0), $\delta_{\text{зем}} = 1600 \text{ кг/см}^2$, $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$, $V_{\text{пред}}$ для бетона = 2,8 м/сек, $\sigma_{\text{дон}}$ для грунта = 2,5 кг/см².

И. ПОВЕРКА РАЗМЕРОВ ПОДВОДЯЩЕГО И ОТВОДЯЩЕГО КАНАЛОВ. Подводящая часть:

$$Q = 7,75 \text{ м}^3/\text{сек}, V = 0,85 \text{ м/сек}, m = 1,5,$$

$$F = \frac{7,75}{0,85} = 9,12 \text{ м}^2,$$

$$h = \frac{\sqrt{F'}}{\sqrt{2\sqrt{1+m^2}-m}} = \sqrt{\frac{9,12}{2\sqrt{3,25}-1,5}} = 2,08 \text{ м}.$$

Примем:

$$h_n = 2,10 \text{ м},$$

$$b = 1,18 \text{ м}.$$

Отводящая часть:

$$7,75 = 0,85 \cdot (x + 1,5 \cdot 1,35) 1,35,$$

откуда

$$x = b = 4,73 \text{ м}.$$

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ОТВЕРСТИЯ ПЕРЕПАДА.

$$H = 1,5 \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}};$$

подставляя числовые значения вместо H , Q и g , получим:

$$b^2 = \frac{(1,5)^3 \cdot Q^2}{g \cdot H^3},$$

или

$$b = \sqrt{\frac{(1,5)^3 \cdot Q^2}{g \cdot H^3}} = \sqrt{\frac{(1,5)^3 \cdot (7,75)^2}{9,81 \cdot (2,10)^3}} = \sqrt{2,23} = 1,49 \text{ м};$$

примем

$$b = 1,5 \text{ м}.$$

При незначительной ширине перепада возможно отверстие его не делить зубцами.

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВОДОВОЙНОГО КОЛОДЦА.

$$p = 36,20 - 33,50 = 2,70 \text{ м}, \quad b = 1,5 \text{ м},$$

$$H = 2,10 \text{ м}, \quad t_2 = 1,35 \text{ м},$$

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{7,75}{1,5} = 5,17 \text{ м}^3/\text{сек},$$

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 1,4 \text{ м}.$$

$$Z = p + H - t_2 = 2,70 + 2,10 - 1,35 = 3,45 \text{ м},$$

$$\frac{Z}{p} = \frac{3,45}{2,70} \approx 1,28,$$

$$x = \frac{H}{p} = \frac{2,1}{2,7} \approx 0,78,$$

$$\left(\frac{Z}{p}\right)_0 = 0,78,$$

откуда

$$\frac{Z}{p} > \left(\frac{Z}{p}\right)_0, -$$

струя с отогнанным прыжком—необходимо устраивать водобойный колодец.

IV. Размеры водобойного колодца. Колодец должен иметь глубину d по следующему неравенству:

$$\frac{Z}{p+d} < \left(\frac{Z}{p}\right)_0,$$

$$\left(\frac{Z}{p}\right)_0 = 0,78$$

(по предыдущему — для первого приближения);

$$Z = 3,45 \text{ м},$$

$$p = 2,70 \text{ м},$$

откуда

$$d > \frac{Z - p \left(\frac{Z}{p}\right)_0}{\left(\frac{Z}{p}\right)_0},$$

или

$$d > \frac{3,45 - 2,70 \cdot 0,78}{0,78} = 1,72 \text{ м}.$$

Примем

$$d = 1,8 \text{ м}.$$

Проверяем для условия водобойного колодца тип струи:

$$\frac{Z}{p'} = \frac{Z}{p+d} = \frac{3,45}{2,7+1,8} = 0,767;$$

определяем x :

$$x = \frac{H}{p'} = \frac{2,10}{4,50} = 0,467;$$

для

$$x = 0,467,$$

$$m = 0,385, \varphi^2 = 0,9;$$

имеем

$$\left(\frac{Z}{p}\right)_0 = 0,79.$$

Следовательно

$$\frac{Z}{p} < \left(\frac{Z}{p}\right)_0,$$

струя затопленная — глубина водобойного колодца достаточна.

Длина колодца.

По формуле, характеризующей вид струи при истечении через водослив в атмосферу:

$$L' = y = \frac{2}{\sqrt{2g}} \cdot V_0 \cdot \sqrt{H},$$

$$V_0 = \sqrt{2gh_{кр}} = 2 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 1,4} = 5,25 \text{ м/сек},$$

$$H = p = 2,7 \text{ м},$$

откуда

$$L' = 5,25 \cdot 1,64 = 8,61 \text{ м}.$$

V. Толщина и длина флюتبета ¹⁾.

$$t = 0,56 \sqrt{H + h_{кр}} = 0,56 \sqrt{2,8 + 2,7} = 0,56 \times 2,19 = 1,21 \text{ м},$$

$$L_{пол} = 2(2,7 + 1,4) = 8,1 \text{ м}.$$

В данном случае мы имеем дело с водобойной частью флюتبета, каковая и должна быть = 8,1 м. Что касается длины пола всего перепада — всех его частей: понурной, водобойной и сливной, — то таковая должна быть такой длины, что фильтрационный напор целиком поглощается на длине пола.

$$L_0 = c \cdot H,$$

$$c = 10 \text{ и } H = 2,70,$$

откуда

$$L_0 = 27,0 \text{ м}.$$

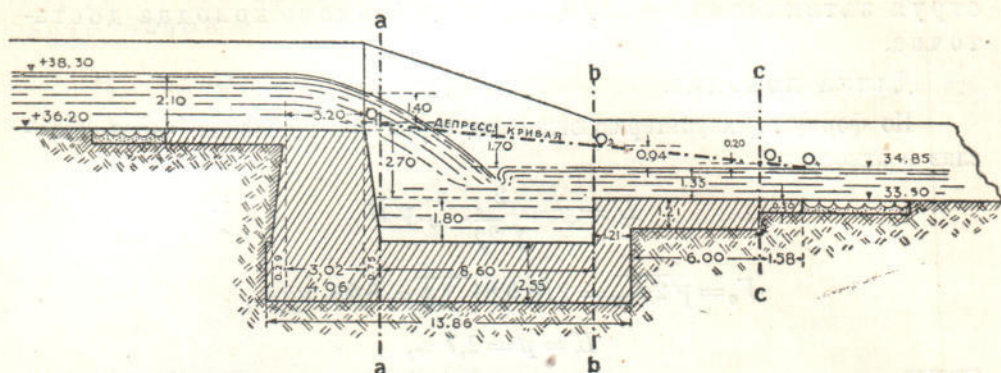
Вычисленное нами выше значение t относится к случаю перепада без водобойного колодца. Для данного случая вычислим толщину пола более детальными приемами (см. черт. 33).

Определим толщину пола в трех сечениях: aa (у основании стенки), bb (у перехода водобойного колодца в сливную часть пола) и cc (на расстоянии 1,58 м от конца флюتبета).

1) Расчет ведется согласно приемам, применяемым проф. В. В. Подаревым.

На нижнюю грань в пределах между сечениями *aa* и *bb* давит столб воды на единицу поверхности грани:

$$H'_o = t' + d + t_2 + a,$$



Черт. 33. Перепад высотой $p = 2,7$ м.

где

t' — толщина пола в м,

d — глубина воды в колодце в м,

t_2 — глубина воды нижнего бьефа в м,

a — возвышение начальной точки депрессионной кривой над уровнем воды в нижнем бьефе, принятое нами = **1,7 м.**

Подставляем числовые значения:

$$H'_o = t' + 1,8 + 1,35 + 1,7 = t' + 4,85.$$

На верхнюю грань давит столб воды:

$$H''_o = t_2 + d + 2t',$$

где

t_2 — глубина воды нижнего бьефа в м,

d — глубина воды в колодце в м,

t' — толщина пола в м.

Подставляем числовые значения:

$$H''_o = 2t' + 1,35 + 1,8 = 2t' + 3,15.$$

Толщина пола определяется из равенства:

$$H'_o = H''_o,$$

откуда

$$t' + 4,85 = 2t' + 3,15,$$

или

$$t' = 1,70 \text{ м};$$

вводим коэффициент запаса 1,5, тогда

$$t' = 1,5 \cdot 1,70 = 2,55 \text{ м.}$$

Толщина пола в пределах от сечения bb до сечения cc.

Возвышение депрессионной кривой над уровнем воды в нижнем бьефе

$$h_c = \frac{L}{c},$$

где

$$L = L_0 - L_\phi,$$

$$c = 8,$$

при

$$L_\phi = p' + t' + c_0 + L_{\text{кoл}} = 4,5 + 2,55 + 3,77 + 8,6 = 19,42 \text{ м},$$

так как

$$p' = 4,5 \text{ м},$$

$$t' = 2,55 \text{ м},$$

$$c_0 = c + \frac{1}{6}p' = 3,02 + \frac{1}{6}p' = 3,02 + 0,75 = 3,77 \text{ м},$$

$$L_{\text{кoл}} = 8,6 \text{ м},$$

$$L_0 = 27,0 \text{ м.}$$

$$L = 27,00 - 19,42 = 7,58 \text{ м.}$$

Следовательно:

$$h_c = \frac{7,58}{8} = 0,94 \text{ м},$$

$$H'_0 = t'' + t_2 + h_c,$$

$$H''_0 = t_2 + 2t'',$$

откуда

$$t'' = h_c,$$

или с коэффициентом запаса $n = 1,5$ имеем:

$$t'' = 1,5h_c = 1,5 \times 0,94 = 1,21 \text{ м.}$$

Толщина пола в пределах от сечения cc до конца флютбета определяется из равенства:

$$H'_0 = H''_0 = t''' + t_2 + h_c = t_2 + 2t''',$$

Величина этих сил следующая:

А. Силы вертикальные.

1. Вес самой стенки

$$G = \frac{c + c'_0}{2} \cdot (p' + t') \cdot \delta_{\text{кл.}}$$

2. Давление воды верхн. бьефа на гребень стенки

$$P_1 = c \cdot H \cdot \gamma.$$

3. Давление воды на часть наклонной грани стенки

$$P_2 = \frac{1}{2m} (t_2 + d)^2 \cdot \gamma.$$

4. Давление фильтрационной воды на основание стенки

$$P_\phi = \left[(t_2 + d + t') + \frac{a + h_c}{2} \right] \cdot c'_0 \cdot \gamma.$$

Б. Силы горизонтальные.

1. Давление земли, насыщенной водой, на вертикальную грань стенки.

При

$$\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 0,25,$$

$$P_3 = 0,5 - (p' + t')^2 \cdot 0,25 \cdot \delta_{\text{зем.}}$$

2. Давление воды, содержащейся в земле, на вертикальную грань стенки

$$P_4 = \frac{1}{2} \cdot (p' + t')^2 \cdot \gamma.$$

3. Давление воды нижнего бьефа на часть наклонной грани стенки

$$P_5 = \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}} \cdot (t_2 + d)^2 \cdot \gamma.$$

Если примем по предыдущему:

$$\begin{aligned}
 c &= 3,02 \text{ м} & m &= 6 & a &= 1,7 \text{ м} & c'_0 &= 4,06 \text{ с} \\
 c_{\text{коэфф}} &= 8 & h_c &= 0,94 \text{ м} & p' &= 4,5 \text{ м} \\
 t' &= 2,55 \text{ м} & H &= 2,1 \text{ м} & t_2 &= 1,35 \text{ м} \\
 d &= 1,8 \text{ м} & \gamma &= 1\,000 \text{ кг/м}^3 & \delta_{\kappa A} &= 2\,400 \text{ кг/м}^3 \\
 & & \delta_{\text{зем}} &= 1\,600 \text{ кг/м}^3,
 \end{aligned}$$

то значения сил и плеч моментов около точки A (черт. 34) будут следующие:

Т А Б Л И Ц А 83.

Направление силы	№№ сил	Величина силы кг	Плечо момента относ. точки A м	Момент кг-м	Характер момента
Вертикальное	I	59 897	2,28	136 565	Удержив.
	II	6 342	2,56	16 236	"
	III	827	0,52	430	"
	IV	28 501	2,13	60 707	Опрокид.
Горизонтальное	1	9 940	2,08	20 675	"
	2	24 851	2,08	51 690	"
	3	10 220	2,78	28 412	Удержив.
	Σ	Вертикальн.	—	92 534	—
	Σ	Горизонтальн.	—	43 953	—
	Σ	Удерживающ.	—	181 644	—
	Σ	Опрокидыв.	—	133 072	—

При таком распределении сил и их значениях равнодействующая будет пересекать подошву подпорной стенки в точке, находящейся от точки A в расстоянии:

$$\lambda = \frac{\Sigma_{y\delta} - \Sigma_{o\gamma p}}{\Sigma_{\delta}} = \frac{181\,644 - 133\,072}{92\,534} \approx 0,53 \text{ м.}$$

Следовательно равнодействующая

1) $\lambda < \frac{1}{3} \cdot c'_0$ — выходит из средней трети сечения,

2) $\lambda > \frac{1}{8} \cdot c'_0$ — находится дальше чем на $\frac{1}{8}$ ширины основания стенки от точки A .

Следовательно, принимая во внимание запас прочности, даваемый полом, а также силами сцепления призмы обрушения в плоскости скольжения, можно считать стенку при принятых размерах ее устойчивой на опрокидывание.

Для определения величин напряжений в грунте и в кладке определяем эксцентриситет:

$$e = \frac{1}{2} - c'_0 - \lambda = 1,37 \text{ м.}$$

Тогда σ_{max} — наибольшее напряжение в грунте:

$$\sigma_{max} = \frac{\Sigma_{вер}}{c'_0} \left(1 + \frac{6e}{c'_0} \right) = \frac{92\,534}{4,06} \left(1 + \frac{6 \cdot 1,37}{4,06} \right) = 22\,792 \text{ кг/м}^2,$$

или

$$\sigma_{max} = 2,28 \text{ кг/см}^2 < \sigma_{дон} = 2,5 \text{ кг/см}^2.$$

Коэффициент устойчивости стенки при принятых размерах ее равен:

$$\frac{181\,644}{133\,072} = 1,37.$$

Условия устойчивости стенки на скольжение:

$$\Sigma_{гор} < \mu_0 \cdot \Sigma_{вер},$$

где $\mu_0 = \text{tg}$ угла трения для условий трения бетона по средневлажной обычн. земле = 0,45.

Тогда оказывается:

$$\Sigma_{гор} = 43\,953 \text{ кг-м} > 0,45 \cdot 92\,534 = 41\,640 \text{ кг-м.}$$

Но все-таки скольжение не будет происходить, ибо значительную помощь стенке будет оказывать вес пола флютбета — около 64 474 кг. Что касается

определения прочных размеров боковых стенок, то методы определения остаются те же, что и для водосливной стенки, изменяется лишь значение и характер давлений. Ввиду того, что характер нагрузок изменяется по длине боковых стенок, следует определять размеры поперечного профиля стенок в местах изменения нагрузки. Для этого типа стенок наиболее невыгодным случаем нагрузки будет отсутствие воды на перепаде и давление земли — одностороннее.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

**ОПИСАНИЕ РАЗЛИЧНОГО ТИПА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА НИХ.**

§ 1. ГОЛОВНЫЕ СООРУЖЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ ИХ И ТИПЫ.

В § 3 главы I настоящей работы мы установили несколько разновидностей источников орошения.

В зависимости от вида источника орошения возможно разделить и головные сооружения на несколько типов. Ввиду того, что в практике чаще всего приходится встречаться с реками как источниками орошения, в дальнейшем изложении мы наметим классификацию и типы головных сооружений в применении к рекам. Что же касается каптирования подземных вод (с помощью сооружения колодцев — шахтных и трубчатых, — каптажных устройств, в том числе и кирязов), то в силу их редкого распространения мы не будем останавливаться на детальном изложении головных сооружений при этом виде источников орошения. Использование открытых водных источников со стоячими водами (озера, пруды и пр.) как источников орошения обычно ничем не отличается от использования для целей орошения рек. Поэтому для этого случая мы будем указывать типы головных сооружений тогда, когда будем останавливаться на них при описании способов каптирования оросительной воды из рек.

Головное сооружение — гидротехническое сооружение, содействующее взятию воды из источника орошения в магистральный канал оросительной системы, позволяющее регулировать количества воды, поступающие в оросительную систему, и позволяющее предохранять оросительную систему от всякого рода случайностей и катастроф, порождаемых неблагоприятной природной обстановкой, — должно обладать следующими основными свойствами:

а) Головное сооружение должно быть запроектировано таким образом, чтобы пропускать через себя любой потребный для оросительной системы расход.

б) Головное сооружение должно быть так расположено, чтобы его порог находился выше самой высокой точки площади орошения данного магистрального канала.

в) Головное сооружение должно быть так расположено, чтобы при соблюдении условия (б) его порог находился ниже самого низкого горизонта воды в источнике орошения в период орошения или в период действия магистрального канала оросительной системы.

г) Положение головного сооружения по отношению к береговой линии источника орошения должно быть постоянным и неизменным во все время существования оросительной системы.

д) Головное сооружение должно давать возможность вывода воды из источника орошения в оросительную систему при любом колебании в режиме источника орошения.

Эти пять основных свойств рационально запроектированных и выполненных головных сооружений в общей формулировке сводятся к основному положению: головное сооружение должно в своем положении в пространстве отвечать режиму источника орошения. Таким образом, с одной стороны, необходимо, чтобы уровень воды в источнике орошения, благодаря устройству того или иного головного сооружения, находился всегда не ниже известного положения по отношению к орошаемой площади; с другой стороны, необходимо, чтобы колебания уровня не были очень значительны, дабы не выполнять слишком громоздких головных сооружений.

Если соблюдаются эти два условия, то головные сооружения выполняются наиболее простого типа; при значительных колебаниях уровня в источнике орошения или же при положении уровня в нем продолжительное время ниже возможного положения порога головного сооружения является необходимость в выполнении дополнительных сооружений на источнике орошения. Прежде чем перейти к классификации головных сооружений, мы наметим те составные элементы этих сооружений, которые в целом составляют таковые.

В головное сооружение входят следующие составные части его:

1. Щитовое отверстие, прикрываемое щитами той или иной конструкции, — регулятор, служащий для регулирования количеств воды, попадающих через головное сооружение в оросительную систему.

2. Водосбросный (сбросный) шлюз, служащий для возможности сброса излишних для оросительной системы вод.

3. Подпирающие горизонт воды в источнике орошения сооружения, служащие для создания известного соотношения между уровнем воды в источнике орошения и орошаемым полем и для смягчения колебаний уровня и расхода источника орошения.

4. Направляющие (регуляционные) сооружения на источнике орошения—

для направления потока источника орошения к головному сооружению, в целях возможности изъятия этим последним возможно больших количеств воды.

5. Сооружения, помогающие борьбе с заилием головного сооружения и нейтрализующие вредные последствия отложения наносов в месте расположения головного сооружения.

Каждая из 5 частей головного сооружения представляет из себя более или менее крупное гидротехническое сооружение.

При некоторых условиях режима источника орошения, рельефа места расположения головного сооружения, характера орошения — головное сооружение может быть заменено некоторым сооружением, позволяющим переносить потребную для орошения данной площади воду с уровня воды в источнике орошения до некоторой плоскости, командующей над всей орошаемой площадью. Переходя к классификации головных сооружений на реках, мы положим в основание ее два признака:

а) взаимное положение уровня воды в источнике орошения и орошаемой площади;

б) размер орошаемой площади.

Первый фактор может изменяться в пределах от наихудшего до наилучшего через средний; второй можно рассматривать в двух видах — малые площади орошения и большие.

Составим таблицу всевозможных комбинаций этих двух факторов.

ТАБЛИЦА 84.

Разность гор. источн. орош. и орош. пл.	Размер орош. площади		
	М а л а я	С р е д н я я	Б о л ь ш а я
Малый	Головное сооружение без подпорного сооружения	Водоподъемник простейший, малой мощности	Водоподъемник совершенный, малой мощности
Значительный	Головное сооружение без подпорного сооружения	Головное сооружение с подпорным на источнике орошения сооружением	Водоподъемник совершенный, большой мощности

Таким образом мы получаем некоторую условную классификацию головных сооружений в зависимости: 1) от различных взаимных положений горизонта воды в источнике орошения и орошаемого поля, 2) от размеров орошаемой площади. Если мы для второго признака нашей классификации (размер орошаемой площади) сможем наметить в абсолютных цифрах гра-

ницу между двумя разновидностями этого признака, то для первого признака эта граница трудно исчисляется в абсолютных цифрах и зависит от массы различных обстоятельств: экономика, технические возможности, характер режима источника орошения и т. д., тем более, что эти обстоятельства обычно перекрывают друг друга и встречаются в различных комбинациях. По размеру орошаемой площади, примерно, можно подразделить головные сооружения на обслуживающие оросительные системы:

а) площадью до 150 га (площадь, могущая быть орошенной при простейшем водоподъемнике) и ниже;

б) площадью свыше 150 га.

По разности уровня воды в источнике орошения и орошаемого поля можно подразделить головные сооружения на обслуживающие оросительные системы с:

а) уровнем воды в источнике орошения, всегда находящемся выше уровня воды в магистральном канале, соответствующего наибольшему расходу этого канала;

б) уровнем воды в источнике орошения, находящемся ниже уровня воды в магистральном канале, соответствующего наименьшему расходу этого канала, но не ниже 30—50 м;

в) уровнем воды в источнике орошения, находящемся более, чем на 30—50 м ниже уровня воды в магистральном канале, соответствующем наименьшему расходу этого канала.

Граница, устанавливаемая нами для разновидностей (б) и (в) (ниже на 30—50 м уровня воды в магистральном канале, соответствующего наименьшему расходу этого канала), является условной и определяется главным образом достижениями техники в смысле выполнения подпорных сооружений на источнике орошения, а также экономическими соображениями — значительной стоимостью подпорных сооружений с подпором более 50 м.

Какие же типы головных сооружений выполняются при указанных нами в табл. 84 шести случаях?

Тип I.

Площадь орошения — малая.

Разность горизонтов источника орошения и орошаемого поля — малая.

Для этой комбинации двух основных условий применения различных типов головных сооружений наиболее применимым является головное сооружение, состоящее из двух основных частей: а) шлюза-регулятора и б) шлюза-водосброса.

Тип II.

Площадь орошения — малая.

Разность горизонта источника орошения и орошаемого поля — средняя. Для этой комбинации двух основных условий при-

меняются различного вида простейшие водоподъемники: а) нория, б) цепной насос, в) архимедов винт, г) водоподъемные колеса. Водоподъемник подает воду в приемный бассейн, снабжаемый тем или иным регулирующим сооружением, из которого вода поступает в магистральный канал. Указанные водоподъемники допускают следующую высоту подъема:

ТАБЛИЦА 85.

Тип водоподъемника	Наибольшая высота подъема в м (приблизительно)
Нория	3,0
Цепной насос	3,0
Архимедов винт	4,5
Водоподъемные колеса	5,0

Тип III.

Площадь орошения—малая.

Разность горизонтов источника орошения и орошаемого поля—большая.

Для этой комбинации двух основных условий применения того или иного типа головного сооружения характерно применение водоподъемников более совершенных, чем для типа II. К этому виду водоподъемников, позволяющих весьма быстро, но в большинстве случаев с затратой большего количества движущей силы, поднимать на значительную высоту определенные объемы воды, относятся: а) насосы спирально-цепные — Шен-Эллиса, б) тараны и в) центробежные насосы малой мощности и низкого давления. Высота подъема для этих видов водоподъемников определяются следующими цифрами:

ТАБЛИЦА 86.

Тип водоподъемника	Наибольшая высота подъема в м (приблизительно)
Насос Шен-Эллиса	до 15,0
Таран	„ 240,0 ¹⁾
Центробежн. насос	„ 20,0

¹⁾ Шарпантье де-Коссиньи. Земледельческая гидравлика, стр. 126.

Тип IV.

Площадь орошения—большая.

Разность горизонтов источника орошения и орошаемого поля—малая.

Для этой комбинации двух основных условий применения того или иного типа головного сооружения свойственным является сложное головное сооружение, состоящее из: а) шлюза-регулятора, б) водосбросного шлюза, в) регулирующих гидротехнических сооружений на источнике орошения.

Тип V.

Площадь орошения—большая.

Разность горизонтов источника орошения и орошаемого поля—средняя.

В данном случае мы имеем дело с абсолютным значением разности горизонта в источнике орошения и отметки самой высокой точки орошаемого поля не более 50 м. Эта цифра определяет собой наибольшую высоту плотин, достижимую при современном состоянии выполнения таковых. Правда, уже теперь строят плотины большей чем в 50 м высоты, но их экономическая целесообразность невелика. Поэтому в обычных условиях, если высота подъема горизонта воды в источнике орошения не должна превышать 50 м и если условия для устройства плотины на источнике орошения благоприятны, то возможно сопроводить таковой головное сооружение данного типа. В настоящее время выполняются и плотины высотой до 100 м.

Тип VI.

Площадь орошения—большая.

Разность горизонтов источника орошения и орошаемого поля—большая.

В этом случае разность отметок уровня воды в источнике орошения и наивысших точек орошаемого поля достигает значений больших 50 м, и потому не при всяких экономических условиях возможно устройство плотины. При этих условиях наиболее выгодно перейти к установлению водоподъемных сооружений большой мощности и высокого давления. Возможности при использовании для подъема воды в настоящее время велики как в смысле высоты подъема (имеются насосы¹⁾ одноступенчатые с высотой подъема до 100 м и многоступенчатые с высотой подъема до 900 м), так и в смысле производительности насоса (установлены насосы с производительностью, достигающей до 5,0 м³/сек).

¹⁾ Hütte. Изд. 1912 г., т. II, стр. 589—597.

Следовательно при современном состоянии техники конструирования и выполнения центробежных насосов одной насосной установкой можно оросить до 5600 га. Но обычно применяются центробежные насосы с диаметром от 1 $\frac{1}{2}$ " до 40", при чем производительность колеблется (для насосов низкого давления) от 0,0025 м³/сек до 1,67 м³/сек. Для того чтобы оросить значительную площадь, устанавливают несколько насосов ходовых размеров.

Таким образом в смысле выбора типа головного сооружения можно руководиться вышеуказанными соображениями. Установив тип головного сооружения, нам необходимо определить и конструктивные детали головного сооружения при данных естественноисторических и экономических условиях.

Из охарактеризованных в общих чертах шести типов головных сооружений остановимся на трех:

- а) на головных сооружениях без каких-либо водоподъемных сооружений,
- б) на головных сооружениях с водоподъемными сооружениями в виде барражей, плотин, дамб, и
- в) на головных сооружениях с водоподъемными приспособлениями в виде установок, требующих применения механической силы.

В дальнейшем изложении попробуем разграничить головные сооружения для малых и больших площадей.

А. Головное сооружение самотечного орошения.

Прежде чем приступить к описанию этого типа головных сооружений, мы должны отметить то обстоятельство, что при настоящем развитии оросительного дела головные сооружения чистого типа самотечного орошения почти не проектируются. Встречаются эти головные сооружения в настоящее время лишь при малых размерах орошаемой площади и лишь при выполнении оросительных систем самим населением. Инженерная техника отбросила этот тип головных сооружений главным образом в силу двух обстоятельств:

- 1) в силу полной невозможности регулировать расход и горизонт источника орошения и частой возможности опускания уровня воды в источнике орошения ниже отметки порога регулятора;
- 2) в силу невозможности предохранения головного сооружения от заиливания взвешенными наносами источника орошения.

Неуверенность, что оросительная сеть будет всегда получать достаточное количество воды из источника орошения и что всегда в головном сооружении мы будем иметь достаточный напор для орошения самых высоких точек орошаемой площади, составляет главное причину неприменения этого типа головных сооружений. Оросительная система в этом случае зависит от ряда факторов, находящихся вне зависимости от воли человека. Только что указанное обстоятельство усугубляется еще и невозможностью регулировать миллионы кубических метров отлагающегося у головного сооружения ила.

Следовательно с уверенностью можно рекомендовать не применять этот тип головных сооружений, особенно при необходимости орошать значительные площади.

Так как все же в практике оросительного дела (по преимуществу в Европе) такого типа головные сооружения встречаются, мы вкратце остановимся на описании их.

Если бы пришлось выбирать место для такого головного сооружения, то основные требования для рационального расположения такового заключались бы в следующем:

1. Головное сооружение необходимо располагать в таком месте источника орошения, которое имело бы постоянные и прочные берега и дно, не благоприятствующие обходу самого сооружения.

2. Для уменьшения земляных работ и упрощения конструкции головного сооружения необходимо располагать головное сооружение на прямом (длиной до 1,5 км) участке источника орошения, при чем с таким расчетом, чтобы движущаяся из источника орошения вода устремлялась в головное сооружение под прямым углом.

3. Предыдущее условие должно соблюдаться главным образом для уменьшения количеств взвешенных наносов, влекомых из источника орошения в оросительную сеть. Это явление (заиление) понизится еще более, если мы подберем уклоны для канала возможно близкими к уклонам дна источника орошения.

4. Головное сооружение должно располагаться в таком пункте береговой линии источника орошения, где получится наименьшее количество земляных работ, т.е. где берега источника орошения невысоки. Но при этом нужно помнить, что головное сооружение должно быть незатопляемо ни при каких подъемах уровня воды в источнике орошения.

Этими четырьмя условиями и определяется рациональное расположение головного сооружения, при чем здесь же надо отметить, что одновременно все эти условия могут быть соблюдены лишь в редких случаях. При выборе места под головное сооружение нужно руководиться еще и экономической стороной дела. Головное сооружение настоящего типа состоит из следующих составных частей:

1. Регулятора — с большим или меньшим (в зависимости от величины пропускаемого расхода) числом отверстий, перекрываемых щитами самой разнообразной конструкции.

2. Водосброшенного шлюза — с большим или меньшим количеством отверстий, также перекрываемых щитами различной конструкции.

3. В иных случаях головное сооружение сопровождается водосливными приспособлениями для регулирования горизонта воды в магистральном канале и для возможности сбрасывания излишних вод.

4. Большим или меньшим количеством и большей или меньшей сложностью регулирующих (выправительных) сооружений на источнике орошения.

Этими четырьмя частями и определяется головное сооружение в случае самотечного типа головного сооружения.

Взаимное расположение отдельных частей головного сооружения показано на нижеследующей схеме (черт. 35).

Регулятор этого типа головного сооружения должен быть расположен по возможности ближе к береговой линии источника орошения с тем, чтобы сократить длину участка магистрального канала, необорудованного какими-либо сооружениями. Этот участок канала обычно является наиболее заиляемым, ибо нижележащий регулятор при известном положении щитов создает определенный подпор, уменьшает скорость прохода воды к регулятору и тем самым способствует осажде-



Черт. 35.
Взаимное расположение отдельных частей головного сооружения самотечного типа.

нию ила перед регулятором и во всем участке канала от регулятора до источника орошения. Следовательно, чем короче этот участок, тем меньшее количество наносов будет отлагаться перед регулятором, тем меньший будет расход на ежегодную очистку головной части системы от ила. Регулятор в том случае, когда щиты опущены на ту или иную высоту, образует подпор; этот подпор распространяется и на источник орошения, следовательно и в источнике орошения скорости понижаются, а потому отложение наносов начинается в источнике орошения. В силу этого к регулятору будут притекать воды более или менее осветленные. Но сократить длину этого участка до нуля (когда лицевая плоскость регулятора будет расположена в плоскости берега источника орошения) невозможно, ибо тому препятствует необходимость расположения водосбросного шлюза в этом участке магистрального канала, а также необходимость расположения того или иного типа крепления берегов источника орошения в месте ответвления магистрального канала от источника орошения. Наметить в абсолютных величинах наименьшую длину этого участка магистрального канала не представляется возможным, ибо длина его зависит от расхода тех вод, которые необходимо бывает сбросить через водосбросный шлюз, от характера берегов источника орошения и от экономических соображений. Водосбросный шлюз (конструктивно аналогичный регулятору) располагается часто выше регулятора головного сооружения. Одновременным регулированием щитов этих двух сооружений достигаются два положения действия головного сооружения:

а) щиты регулятора спущены — щиты водосбросного шлюза открыты, — вода сбрасывается;

б) щиты регулятора открыты на большее или меньшее расстояние от порога регулятора — щиты водосбросного шлюза спущены до порога его, — вода пущена в оросительную систему.

Первое положение случается при пропуске паводков, при внезапных значительных подпорах горизонта воды в источнике орошения и опасности подтопления сооружения.

Наконец, при малых размерах орошаемой площади водосбросный плюз может отсутствовать.

Водосливные отверстия в стенках регулятора, в его нижнем бьефе, очень редко устраиваются для регулирования горизонта воды в магистральном канале. Порог водослива этих отверстий располагается обычно на отметке горизонта воды в магистральном канале, соответствующего наибольшему расходу канала.

Что касается регулирующих сооружений, то они могут заключаться в следующих сооружениях:

- а) береговые дамбы у места ответвления магистрального канала от источника орошения (различного очертания в плане) и
- б) продольные (по оси потока) и поперечные (под прямым или острым углом к береговой линии источника орошения) шпоры.

Первый тип сооружений выполняет задачу предохранения от затопления высокими водами места расположения головного сооружения оросительной системы. Второй тип сооружений выполняет роль сооружений, изменяющих направление потока в источнике орошения в целях прижимания такового к месту ответвления магистрального канала от источника орошения.

Что касается конструктивных особенностей отдельных частей головного сооружения, то они нижеследующие.

1. Головной регулятор.

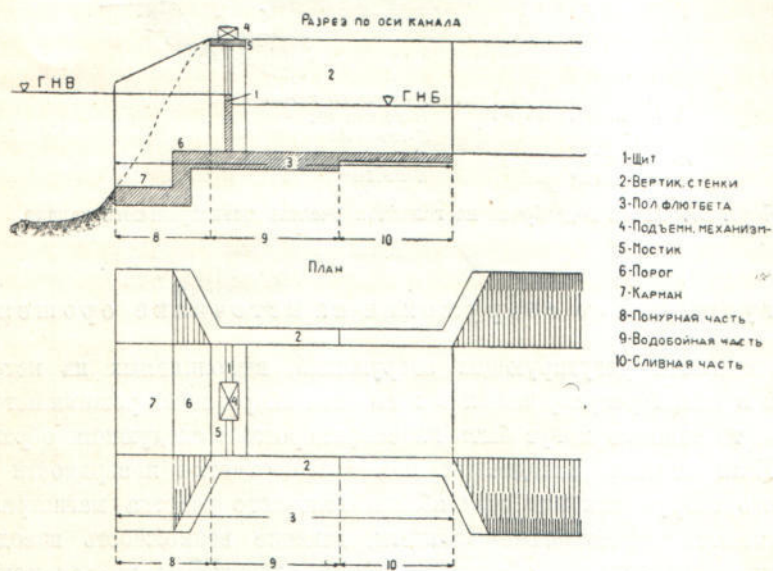
Эта часть головного сооружения состоит из следующих деталей:

1. Из одного или ряда отверстий в стенке, перегородивающей канал в месте его отхода от источника орошения.
2. Каменной коробки той или иной длины с двумя вертикальными стенками и полом, состоящим из 3 частей: понурной, водобойной и сливной.
3. При разделении отверстия регулятора на несколько отверстий, такое достигается путем установки нескольких промежуточных быков.
4. Отверстия регулятора перекрываются мостиком, на котором находятся подъемные механизмы и по которым иногда (если регуляторы значительного размера) прокладывается проезжая часть дороги.
5. Одного или ряда щитов той или иной конструкции, движущихся в пазах, выбранных в вертикальных стенках и быках отверстия регулятора.
6. Порога регулятора с искусственно образованным перед ним карманом для уловления наносов, несомых водой источника орошения.

Зачастую отверстие регулятора перекрывается щитами двоякого типа: 1) одними, служащими для регулирования уровня воды (чаще всего шандоры), и 2) другими, служащими для регулирования количеств воды, поступающих в регулятор (простые, Стоinea, секторные и пр.).

Размеры отдельных частей регулятора зависят от:

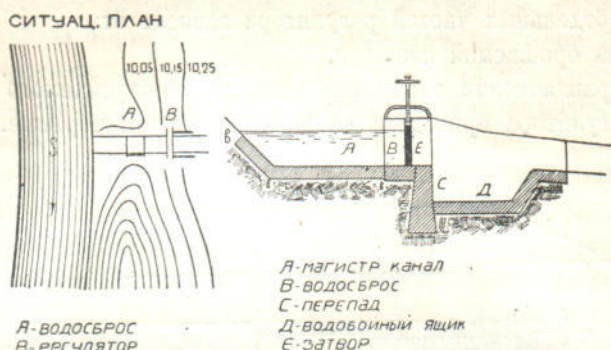
- а) размера орошаемой площади,
 - б) от гидравлических элементов расхода, пропускаемого регулятором.
- Схема регулятора приведена на нижеследующем чертеже.



Черт. 36. Схема головного регулятора.

2. Водосбросный шлюз.

Эта часть головного сооружения устраивается обычно в тех пунктах магистрального канала, где имеется возможность сброса воды в естественный тальвег орошаемой площади. Если головная часть магистрального канала (от источника орошения до головного регулятора) достаточно длинна, то лучше всего устраивать водосбросные шлюзы поблизости от головного регулятора — перед таковым. В этом случае водосбросный шлюз объединяется с головным сооружением в одно сооружение. При значительных размерах магистрального канала и при неурегулированности режима источника орошения и за головным регулятором устраиваются водосбросные шлюзы, при чем зачастую их делается несколько. Отверстие водосбросного шлюза располагается в дамбах магистрального канала, так что вертикальная плоскость, включающая отверстие водосбросного шлюза, перпендикулярна таковой же плоскости, включающей отверстие головного регулятора. По конструкции водосбросный шлюз мало отличается от головного регулятора. Ввиду того, что поток устремляется через водосбросный шлюз с значительной скоростью, отдельные детали его делаются более солидными, чем в случае головного регулятора.



Черт. 37. Схема водосброса на головном участке магистрального канала.

3. Регулирующие сооружения на источнике орошения.

Что касается регулирующих сооружений, выполняемых на источнике орошения в целях регулирования в желаемом направлении режима источника орошения, то таковые могут быть классифицированы следующим образом:

1) Если отметка паводковых вод выше отметки поверхности земли у головного сооружения или если вблизи головного участка магистрального канала имеются естественные тальвеги, дающие возможность паводковым водам течь в направлении обхода головного сооружения, то для регулирования источника орошения применяют сооружение дамб различных размеров и вида поперечного профиля из различных материалов (камень, земля, фашина и пр.).

2) Для регулирования направления движения воды в источнике орошения в желаемую сторону в целях предупреждения отхода струи от головного сооружения устраивают в живом сечении потока дамбы различного размера и поперечного профиля шпоры (продольные и поперечные, под прямым и острым углом к береговой линии источника орошения) из различных материалов (каменная кладка, каменная наброска, ряжи и т. п.).

Первый тип сооружений представляет из себя обычного типа дамбу, идущую по берегу источника орошения на большую или меньшую длину, в зависимости от рельефа местности, где расположено головное сооружение. Обычно ограждение делается в расчете на паводковые воды, и поэтому, если линия наибольших глубин источника орошения проходит у головного сооружения, в этом случае ограничиваются дамбами лишь в пределах береговой линии того берега, на котором находится головное сооружение. Типы поперечных профилей земляных оградительных дамб представлены на чертеже 38.

В самое недавнее время в Западной Европе стали применять для выполнения регулирующих сооружений габионы Пальвиса (проволочные ящики с заполнением из камня или гальки различных размеров).



Черт. 38. Поперечные профили земляных оградительных дамб.

Б. Головное сооружение с подъемом воды с помощью барража, плотины, ДАМБЫ.

В последнее время, как уже было выше указано, головные сооружения без водоподъемных устройств устраиваются только при малых орошаемых площадях и при выполнении их самими водопользователями. Если же орошаются значительные площади, то, как правило, головное сооружение включает в себя водоподъемное сооружение того или иного типа. Основанием такой конструкции служат следующие обстоятельства:

а) В случае использования для целей орошения паводковых вод рек является необходимость в захвате этих вод и в последующем их использовании на орошение не только в период их образования, но и в остальные моменты оросительного периода. Обычно период паводков не совпадает с периодом наибольшего расходования оросительной воды. С другой стороны реки районов орошения обладают весьма неравномерным режимом: колебания между Q_{max} и Q_{min} достигают в них значительных величин. Если бы нужно было использовать полностью расход этих рек на нужды орошения без устройства на них водохранилищ, дающих возможность скапливать паводко-

вые воды и равномерно распределять их по оросительному периоду, то пришлось бы выработать такие формы орошаемого хозяйства, при которых все (или большинство) поливов должно было бы сосредоточиться на протяжении периода паводка. Вместе с тем такие формы хозяйства нерентабельны и нерациональны со всех точек зрения. Если же строить хозяйство безотносительно к кривой режима источника орошения, то на протяжении оросительного периода получились бы моменты, когда воды было бы слишком много по сравнению с потребностью орошаемых земель, и моменты, когда воды нехватало бы. В силу такого несоответствия между кривой режима источника орошения и кривой потребления воды орошаемыми землями представляется необходимым или подбирать формы хозяйства применительно к кривой режима источника орошения или же регулировать режим реки таким образом, чтобы избыточную в определенные моменты оросительного периода воду сохранить для тех моментов этого периода, когда воды не хватает.

Вот для такой регулировки и устраиваются на реках водохранилища с помощью устройства плотин, барражей, дамб.

б) Зачастую в верхних участках рек уровни воды при всяком их положении устанавливаются значительно ниже уровня воды в головной части оросительной системы, соответствующего наибольшему потребному в системе расходу. Этот дефект источника орошения устраняется устройством водоподъемных сооружений в виде плотин, дамб, барражей.

Следовательно регулирование режима и подъем уровня воды источника орошения достигается путем устройства соответствующих сооружений.

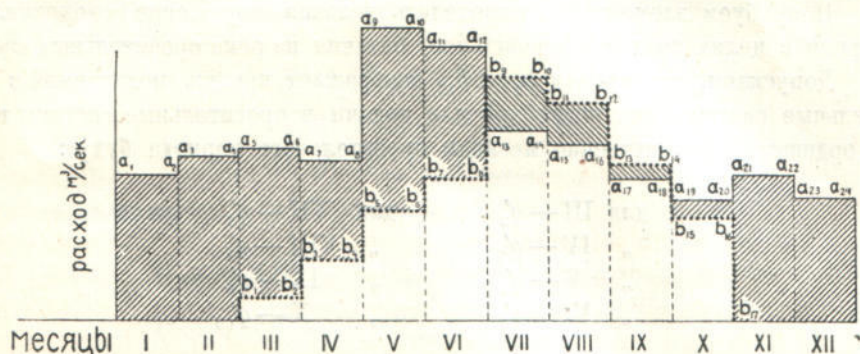
Эти сооружения обычно стоят очень дорого, поэтому применение их рентабельно лишь при орошении значительных площадей и лишь при условии ведения рационального хозяйства.

Так как большинство рек районов орошения обладает неурегулированным режимом, то современная техника выполнения головных сооружений не знает таковых без устройства одного из типов водоподъемных устройств. Головные сооружения этого типа состоят из следующих отдельных частей:

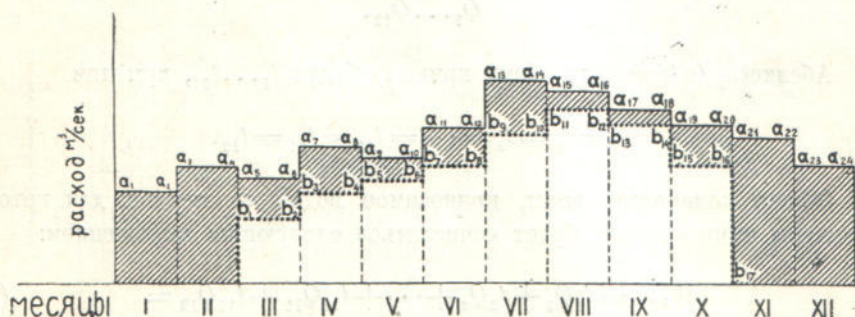
1. Барраж, плотина, дамба с водосливными или водоспускными отверстиями и с промывными шлюзами.
2. Головной регулятор обычного типа.
3. Водосбросный шлюз обычного типа.
4. Регулирующие на источнике орошения сооружения.

Основной целью водоподъемного сооружения на реке является регулирование режима рек. Нижеуказанная схема (черт. 39) показывает нам два случая соотношения между кривой режима (кривой колебания расхода) реки и кривой потребления воды оросительными системами, получающими воду из данной реки.

А. Тип НЕУРЕГУЛИРОВАННОГО РЕЖИМА



В Тип УРЕГУЛИРОВАННОГО РЕЖИМА



Черт. 39. Типы соотношения кривых режима рек и потребления воды оросительными системами.

На приведенной схеме для типа *А* фигура a_{13} b_9 b_{10} b_{11} b_{12} b_{13} b_{14} a_{18} a_{17} a_{16} a_{15} a_{14} (заштрихованная слева направо) представляет из себя в некотором масштабе недостаток воды на потребности оросительных систем, получающих воду из данного источника орошения. Остальная часть между кривыми $a_1 \dots a_{24}$ и $b_1 \dots b_{17}$, заштрихованная справа налево, представляет собою избыток вод. Для типа *В* пространство между двумя кривыми заштриховано справа налево; этот тип режима не требует устройства водоподъемных и регулирующих сооружений на реке, если только разность отметки между наивысшей точкой площади командования реки и наинизшим (или иным, принимаемым за наименьший во время действия оросительной системы) уровнем воды в реке не требует подъема последнего.

На основании этих кривых возможно подсчитать емкость будущего водохранилища, образуемого барражем, плотиной или дамбой. Имея детальный план в горизонталях места расположения водохранилища и подсчитав одним из рекомендуемых способов (см. работы В. В. Чикова, Н. В. Мاستицкого и др.) потребную емкость водохранилища, мы сможем опреде-

лить и высоту стояния воды в водохранилище, а отсюда и высоту барража, плотины и дамбы.

Попробуем элементарно определить условия сооружения водохранилища на реке в целях создания правильного питания из реки оросительных систем.

Допускаем, что кривая $b_1 \dots b_{17}$ изображает кривую подаваемой в оросительные системы или потребной для подачи в оросительные системы воды. Ее ординаты соответственно месяцам оросительного периода будут:

для III — q'_3	для VII — q'_7
" IV — q'_4	" VIII — q'_8
" V — q'_5	" IX — q'_9
" VI — q'_6	" X — q'_{10}

Ординаты кривой режима для соответствующих месяцев года будут:

$$Q_1 \dots Q_{12}.$$

Абсциссы (общие для обеих кривых) будут $t_1 \dots t_{12}$, при чем

$$t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_{10} = t_{11} = t_{12}.$$

Общее количество воды, приносимое водой за период, для которого составлены нами кривые, будет исчисляться следующим выражением:

$$\begin{aligned} W_{\text{полн}} &= t_1 Q_1 + t_2 Q_2 + \dots + t_{11} Q_{11} + t_{12} Q_{12} = \\ &= t_1 (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{11} + Q_{12}). \end{aligned} \quad (184)$$

Количество воды, потребное для подачи в оросительные системы питающиеся из данной реки, будет исчисляться следующим выражением:

$$W_{\text{потр}} = t_1 (q'_3 + q'_4 + q'_5 + q'_6 + q'_7 + q'_8 + q'_9 + q'_{10}). \quad (185)$$

Для периода $t_7 + t_8 + t_9 = 3t_1$ мы имеем недостаток воды:

$$(I) \quad W_{\text{водоз}} = W'_{\text{потр}} - W'_{\text{полн}} = t_1 [(q'_7 + q'_8 + q'_9) - (Q_7 + Q_8 + Q_9)]. \quad (186)$$

С другой стороны для периодов:

а) $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 = 6t_1$ — избыток воды:

$$(II) \quad W''_{\text{полн}} - W''_{\text{потр}} = t_1 [Q_1 + \dots + Q_6] - (q'_1 + \dots + q'_6). \quad (187)$$

б) $t_{10} + t_{11} + t_{12} = 3t_1$ — избыток воды:

$$(III) \quad W'''_{\text{полн}} - W'''_{\text{потр}} = t_1 [(Q_{10} + Q_{11} + Q_{12}) - (q'_{10} + q'_{11} + q'_{12})]. \quad (188)$$

Объем, потребный для орошения, таким образом определяется формулой (I). С другой стороны может быть решен еще вопрос о соответствии между избытками воды в реке и ее недостатком, и в этом случае могут быть 3 положения:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1) W_{изб} > W_{недост}, \\ 2) W_{изб} = W_{недост} \text{ и} \\ 3) W_{изб} < W_{недост}. \end{array} \right. \quad (189)$$

Если заменим:

$$W_{изб} = [(W'''_{полн} + W''_{полн}) - (W'''_{потр} + W''_{потр})], \quad (190)$$

$$W_{недост} = W_{водах} = W''_{потр} - W_{полн}, \quad (191)$$

то три предыдущих выражения могут быть заменены следующими:

$$\left\{ \begin{array}{l} (1) [(Q_1 + \dots + Q_6 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12}) - (q'_1 + \dots + q'_6 + q'_{10} + q'_{11} + q'_{12})] > [(q'_7 + q'_8 + q'_9) - (Q_7 + Q_8 + Q_9)], \\ (2) [(Q_1 + \dots + Q_6 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12}) - (q'_1 + \dots + q'_6 + q'_{10} + q'_{11} + q'_{12})] = [(q'_7 + q'_8 + q'_9) - (Q_7 + Q_8 + Q_9)] \text{ и} \\ (3) [(Q_1 + \dots + Q_6 + Q_{10} + Q_{11} + Q_{12}) - (q'_1 + \dots + q'_6 + q'_{10} + q'_{11} + q'_{12})] < [(q'_7 + q'_8 + q'_9) - (Q_7 + Q_8 + Q_9)]. \end{array} \right. \quad (192)$$

В первом случае (выр. 1) мы имеем неполное использование воды реки для орошения земель, находящихся в ее зоне командования: в этом случае остаток воды или должен сбрасываться или же может быть использован для переброски ее в соседний район орошения.

Во втором случае (выр. 2) избыток воды в реке в некоторые периоды данного года покрывает недостаток ее во время орошения; река нацело использована, и развития орошаемой площади возможно ждать путем повышения степени использования воды, т.-е. путем уменьшения поливных норм, числа поливов, уменьшения потерь на фильтрацию, изменения состава орошаемых культур на другой, требующей меньшей затраты воды, и т. п.

Наконец, в третьем случае (выр. 3) мы имеем дело с реками, которые для использования всех земель, лежащих в зоне их командования, требуют дополнительного питания путем непосредственного увеличения их расхода (увеличение стока, дополнительное питание рек и т. п.) или же путем орошения земель, расположенных в их долинах, подведением воды из других источников орошения.

Метод построения кривых режима рек совершенно ясен из гидрометрических построений. Что же касается построения кривой потребления воды оросительными системами, то последняя аналогична кривой расхода воды.

I. Классификация водоподъемных сооружений. На основании сказанного выше мы можем установить, что для правильного снабжения водой из источника орошения оросительных систем, из него питающихся, при условии непревышения высоты поднятия воды в 50 м, устраиваются водоподъемные сооружения, именуемые в литературе плотинами, барражами, дамбами, аникутами и т. п. Эти наименования основываются не на коренных отличиях одного типа от другого, а определяются в большинстве случаев местными условиями и неустановленностью терминологии. Так, например, барраж есть местное название сооружения, именуемого в других странах плотиной. Аникутой в Индии называются обычного типа речные плотины из каменной (по преимуществу) наброски. У нас в СССР гидротехническое сооружение, имеющее своей целью поднятие горизонта воды, регулирование расхода воды и образование некоторого объема резервуара для скопления в нем воды, называется плотиной. В дальнейшем изложении мы и примем это наименование для этого рода сооружений. В зависимости от многих факторов могут быть различные видоизменения плотин: грунт дна и боков источника орошения, вид живого сечения источника орошения, цель, для которой устраивается сооружение, экономическая обстановка и т. п., — все это может видоизменять тип плотины и ее основные размеры. Экономика есть тот фактор, который дает возможность сравнивать один тип плотины с другими, мыслимыми в данных условиях типами, и устанавливать, какой из этих типов при прочих равных условиях наиболее рентабелен.

Для удобства рассмотрения материалов о конструкции плотин как составных частей головного сооружения оросительной системы мы наметим некоторую (условную) классификацию.

Плотины могут быть подразделены с точки зрения материала, применяемого для их выполнения. В этом случае плотины могут делиться на следующие группы:

1. Земляные плотины.
2. Плотины из камня:
 - а) наброска,
 - б) кладка.
3. Плотины деревянные.
4. Плотины фашинные.
5. Плотины бетонные.
6. Плотины железобетонные.
7. Плотины металлические.

Плотины могут быть подразделены по своему назначению на два основных класса:

- I. Класс плотин вододержательных.
- II. Класс плотин водоподъемных.

В свою очередь каждый из этих классов может быть подразделен на следующие 3 типа — на плотины глухие, водосливные и водоспускные. Второй и третий типы могут быть подразделены на следующие виды:

1. Тип водосливный:

- а) водослив — в обход плотины;
- б) водослив — в теле плотины.

2. Тип водоспускной:

- а) водоспуск — с одним отверстием;
- б) водоспуск — с несколькими отверстиями.

Предпоследний тип плотин может быть с отверстием, перекрываемым щитом, с опорами на устоях плотины, и с опорами, расположенными в отверстии плотины, но при пропуске воды снимаемыми с образованием одного отверстия. Последний вид плотин может быть с отверстиями, ширина коих значительно меньше длины плотины, и с отверстиями, ширина коих почти равна длине плотины и разнится от последней на толщину быков отверстий.

Наконец, тип плотин с водоспусками может быть подразделен на виды по характеру затворов.

В своем изложении мы ограничимся детальным рассмотрением лишь наиболее применимых видов плотин. К таким видам плотин мы отнесем:

- 1. Плотины с водосливами в обход плотины — земляные.
- 2. Плотины с водосливами в теле плотины — каменные, бетонные.
- 3. Плотины с водоспусками — каменные и бетонные.

Остальные виды плотин для условий русской действительности и дороги и технически трудно выполнимы.

II. Виды плотин. Земляная глухая плотина. Расчет плотин обычно заключается в определении прочных и устойчивых размеров поперечного профиля плотины, того профиля, который подвержен наибольшему напору. Земляные глухие плотины обычно устраиваются при необходимости запастись незначительные количества воды. В последнее время встречаются плотины с высотой в 27,0—30,0 м¹⁾. При применении же гидравлических методов образования тела плотины или при условии дополнения тела плотины водонепроницаемыми диафрагмами различных материалов (водонепроницаемый грунт, камень, бетон, железо), высота плотины может достигать 31,0—55,0 м.

Земляная плотина имеет всегда трапециoidalный профиль с размерами:

Ширина гребня	не < 1,8 м,
„ „ при езде по гребню	не < 4,2 м.

1) Н. И. Анисимов. Вододержательные и водоподъемные плотины, Часть I, стр. 11,

Иногда определяют ширину по гребню по нижеследующей формуле¹⁾:

$$b = 0,9 + \frac{5}{17} (H - 0,9), \quad (193)$$

где H — высота плотины в м, d — ширина по гребню в м.

Между уровнем самых высоких вод в водохранилище и гребнем плотины должна быть определенная зависимость. Гребень плотины небольших водохранилищ должен возвышаться над уровнем самых высоких вод в водохранилище примерно на 0,25—0,50 м. Если водохранилище, образуемое плотинной, значительно, то можно рекомендовать следующую формулу²⁾ определения высоты волны, каковая и должна (с некоторым запасом) определять собой разность отметок самого высокого уровня воды в водохранилище и гребня плотины:

$$x = 0,5 \sqrt{F} + 7,5 - 0,35 \sqrt[4]{F}. \quad (194)$$

В этой формуле x — высота волны в м,

F — расстояние от плотины по воде до берега, откуда дует господствующий ветер, в км.

Откосы земляных глухих плотин делаются:

сухой (наружный) от 1:1 $\frac{1}{2}$ до 1:3 $\frac{1}{2}$;

водный (внутренний) от 1:2 до 1:4 и более.

Расчет профиля земляной плотины ведется обычными приемами расчета подпорных стенок при односторонней нагрузке — воде, при чем коэффициент устойчивости плотины на скольжение принимают не менее 10, а коэффициент трения принимают в пределах от 0,5 до 1,0 (0,5 — для сырой глины). Наконец, при проверке профиля земляной глухой плотины на фильтрацию профиль считают рациональным в том случае, если депрессионная кривая располагается в пределах уклонов от 0,2 до 0,35.

Для предохранения водного (внутреннего) откоса от размыва и для предотвращения фильтрации сквозь тело плотины последний (откос) укрепляют, при чем укрепления могут быть выполнены из плетня, фашин, мостовой или каменной кладки, в зависимости от размеров плотины. Сухой (наружный) откос крепят дерном.

Фильтрация обычно наибольшая по поверхности соприкосновения насыпного грунта с поверхностью земли. Для предотвращения фильтрации под основание плотины необходимо увеличивать фильтрационный путь и основывать плотину (по возможности) на водонепроницаемом грунте. Последнее достигается снятием под основанием плотины растительного слоя, а

1) Н. И. Анисимов. Указанная работа. Часть I, стр. 7.

2) Н. И. Анисимов. Указанная работа. Часть II, стр. 36.

первое достигается путем заложения в основание одного, двух, трех (в зависимости от размеров плотины) продольных замков, глубиной, зависящей от величины подпора и во всяком случае не $\leq 1,0$ м. Наконец, сопротивляемость плотины фильтрации достигается хорошим выполнением тела плотины (послойное трамбование с смачиванием слоев) и особым механическим составом грунта, из которого насыпаются плотины. Лучшим грунтом для образования тела плотины являются песчано-глинистые грунты состава: 65% песка и 35% глины. При определенных свойствах грунтов, слагающих бока водохранилища, необходимо концы плотины заделывать на определенную глубину (по возможности до водонепроницаемого грунта) в грунт боков водохранилища, освобожденных от растительного слоя. Глубина заделки во всяком случае должна быть не менее 2,10—3,15 м. Особой прочности и водонепроницаемости плотин достигают при выполнении их намывом — разрушением мелкоземистых грунтов в особых карьерах водяной струей под большим давлением и транспортированием этих размытых грунтов к месту образования плотины по желобам. Этого рода плотины настолько прочны и водонепроницаемы, что некоторые американские практики¹⁾ допускают возможность выполнения таким образом плотин высотой до 90,0 м.

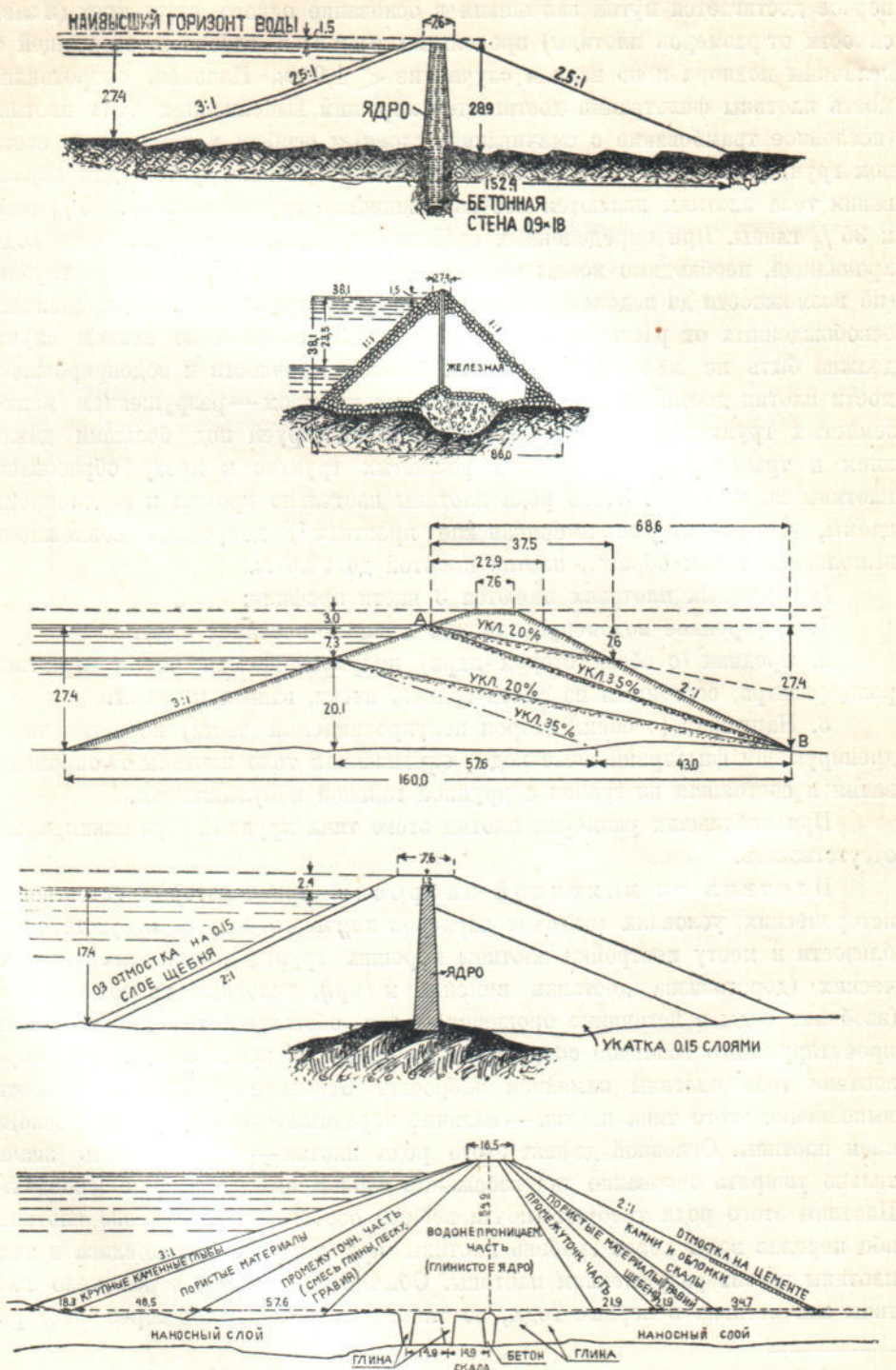
В намывных плотинах имеются 3 части профиля:

1. Внутреннее водонепроницаемое глинисто-песчаное ядро.
2. Средняя (с обеих сторон ядра) полупроницаемая часть, играющая роль фильтра, состоящая из смеси гравия, песка, гальки и глины.
3. Наружная (с обеих сторон полупроницаемой части) пористая часть, дренирующая фильтрационные воды, охраняющая тело плотины от опрокидывания и состоящая из гравия с крупной галькой и булыжником.

При небольших размерах плотин этого типа крупный булыжник может отсутствовать.

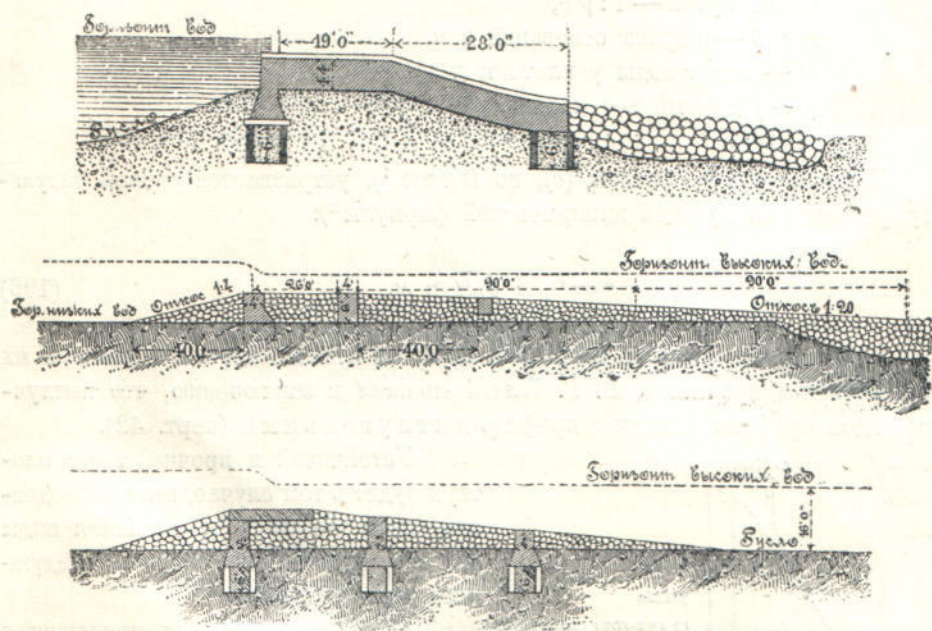
Плотина из каменной наброски. При некоторых естественно-исторических условиях (наличие карьеров хорошего камня, отсутствие поблизости к месту постройки плотины хороших грунтов), условиях экономических (дороговизна доставки цемента и пр.), условиях гидрологических (изобилие воды в источнике орошения) — эти обстоятельства могут навести проектирующего головное сооружение на мысль об использовании для образования тела плотины каменной наброски. Основное условие возможности выполнения этого типа плотин — наличие неразмываемого грунта под основанием плотины. Основной дефект этого рода плотин — необходимость значительно уширять основание для избежания скольжения плотины по основанию. Плотины этого рода требуют (почти всегда) особого водослива вне плотины, ибо перелив воды через гребень плотины при устройстве водослива в теле плотины грозит разрушением плотины. Обычно фильтрация через тело плотины значительна в первые годы, но таковая не опасна, ибо через некоторое

¹⁾ Н. И. Анисимов. Указанная работа. Часть I, стр. 21.



Черт. 40. Типы глухих земляных плотин.

время наступает кольматация плотины, и она становится столь же водонепроницаемой, как и земляная плотина. Зачастую для предотвращения фильтрации водный откос плотины покрывается двумя рядами асфальтового покрытия, при чем в нижнем ряду имеются скобы, коими покрытие прикрепляется к анкерам, заделанным в наброску. Толщина асфальтового слоя¹⁾ делается в такой конструкции до 25,4 мм каждый ряд. Возможны и другие видоизменения конструкции асфальтового покрытия, рекомендуемого в силу своей эластичности. Профиль плотины из каменной наброски обычно делается с откосами не круче 1:3 — водный откос и 1:1 — сухой откос. Но большие плотины индийских оросительных систем имеют своеобразное очертание поперечного профиля и отличаются от нормального типа незначительной высотой и допущением перелива паводковых вод через гребень плотины. Подробности конструкции такого рода плотин видны из чертежа 41.



Черт. 41. Типы плотин из каменной наброски.

Каменные плотины (из каменной кладки). Материалом для таких плотин может служить бутовый камень на жирном цементном растворе, бетон состава 1:2:4 и до 1:3:5, бетонно-бутовая кладка, образуемая погружением в бетон крупных камней²⁾. Каменные плотины устраиваются по типу подпорных стенок и по типу сводов.

1) Н. И. Анисимов. Указанная работа. Часть I, стр. 24—32.

2) Н. И. Анисимов. Указанная работа. Часть I, стр. 24—32.

Определение устойчивого и прочного профиля плотины как в случае подпорной стенки, так и в случае сводчатого очертания плотины в плане излагается в соответствующих источниках (например курсы строительной механики, указанные работы по плотинам инж. Н. И. Анисимова, проф. В. В. Подарева и др.), к каковым интересующихся деталями расчета мы и отсылаем.

Что касается наиболее устойчивого и прочного профиля каменной плотины, то таковой имеет очертание теоретически по прямоугольному треугольнику с одним катетом вертикальным (обращенным к воде) и другим — горизонтальным, покоящимся на грунте. Составные части такого профиля следующие:

$$\text{Ширина основания плотины } b = \frac{H}{\sqrt{q}} \text{ в м.} \quad (195)$$

Откос сухой — $1:\sqrt{q}$,

где b — ширина основания в м,

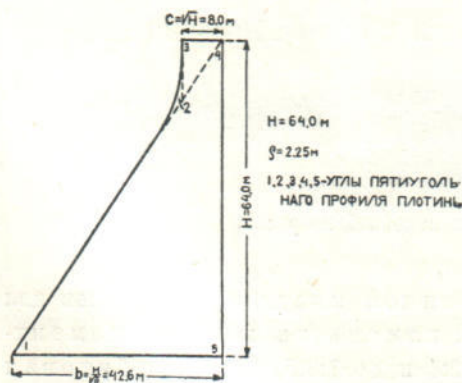
H — напор воды у плотины в м,

q — удельный вес кладки.

Ширина гребня плотины (c), по Блей ¹⁾, устраивается равной результату решения следующей эмпирической формулы ²⁾:

$$c = 0,56 \sqrt{H} \text{ в м.} \quad (196)$$

В результате анализа очертаний профиля многих плотин и проверки их устойчивости и прочности, В. Г. Блей пришел к заключению, что наилучшим видом профиля является профиль пятиугольный (черт. 42).



Черт. 42. Схема пятиугольного профиля каменной плотины.

Устойчивой и прочной такая плотина будет в том случае, если равнодействующая ее веса и давления воды на нее будет удовлетворять следующим двум условиям:

1. Расстояние точки приложения ее в основании от водной грани плотины должно быть больше $\frac{1}{8}$ ширины основания плотины (и лучше в средней трети профиля).

2. Угол, образуемый равнодействующей с плоскостью основания, должен быть меньше угла трения грунта, на котором покоится плотина.

¹⁾ В. Г. Блей. Указанная работа, стр. 66.

²⁾ В. Г. Блей. Указанная работа, стр. 72.

Помимо этого имеется еще ряд второстепенных условий, указанных нами при расчете подпорных стенок в части I нашей работы.

Расчет прочности и устойчивости плотины ведется на полное давление по всей ее длине до основания, если бы даже тело плотины прорезывало верхние слои грунтов.

Что касается гребня плотины, то он должен быть выше подпертого горизонта на высоту возможных в водохранилище волн (по формуле 194) или же на ту же величину, но выше слоя воды, переливающейся через водосливное отверстие плотины. Для определения размеров профиля каменных плотин пользуются иногда следующей формулой Молесурта¹⁾:

$$b = \sqrt{\frac{0,015 H^3}{\lambda + 0,009 H}} + \left(\frac{0,027 H}{\lambda} \right)^4, \quad (197)$$

где λ — допускаемое напряжение в кладке плотины в m/m^2 ,

H — высота воды перед плотиной в m ,

b — ширина основания плотины в m

и

$$c = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0,00024 H^3}{\lambda + 0,0022 H}} + 0,3 \left(\frac{0,027 H}{64 \lambda} \right)^4, \quad (198)$$

где c — ширина гребня в m .

В конструктивном отношении В. Г. Блей делит все каменные плотины на следующие основные группы (за исключением железобетонных плотин):

1. Тяжелые глухие.
2. Тяжелые водосливные.
3. Сводчатые плотины.
4. Сводчатые на быках.

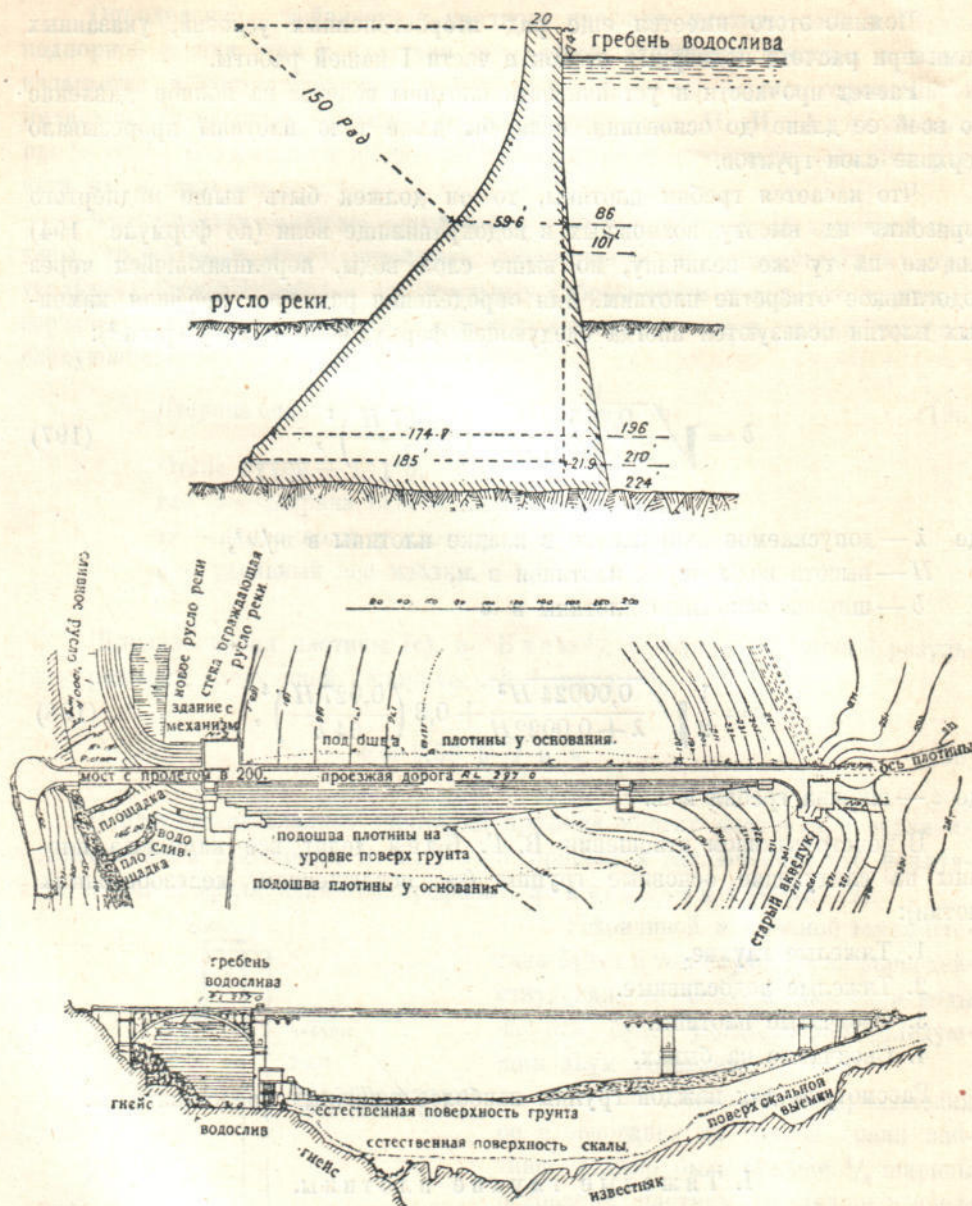
Рассмотрим для каждой группы наиболее типичных представителей.

1. Тяжелые глухие плотины.

Этим термином определяются в английской мелиоративной литературе плотины, сопротивляющиеся всем своим весом напору воды. Для этого случая необходимо положение линии давления в средней трети.

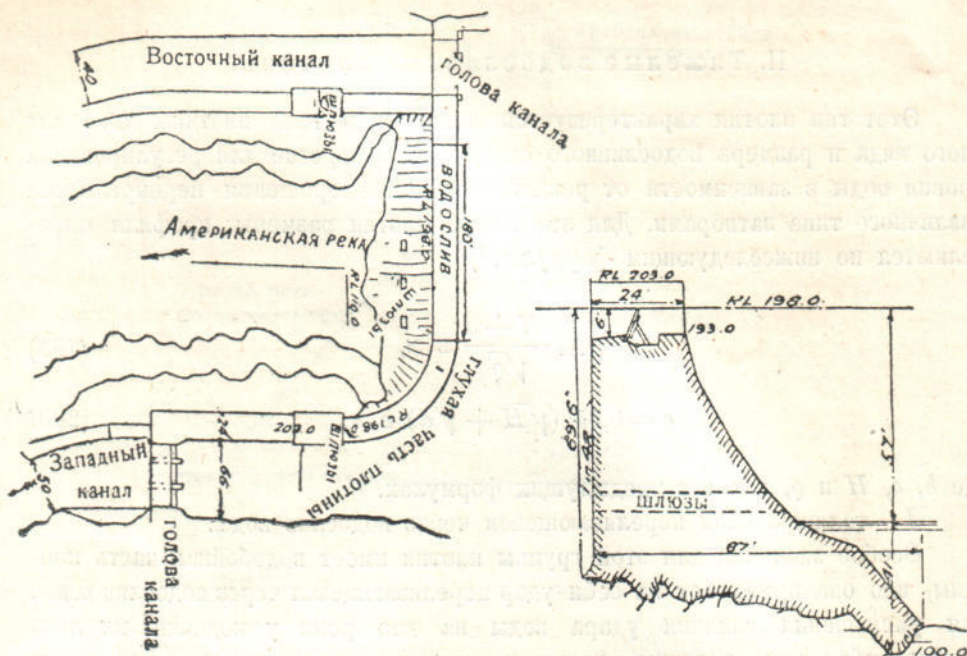
Примером этого типа плотин служит Ново-Крэтонская плотина, построенная для водоснабжения Нью-Йорка (черт. 43).

¹⁾ Н. И. Анисимов. Указанная работа. Часть I, стр. 36.



Черт. 43. Ново-Кратонская плотина в трех проекциях.

Особенности при выполнении этой плотины заключались в том, что пришлось по всей длине и ширине основания прорезать наносный грунт толщиной в 45,72 м до древнего ледникового скалистого русла реки. Длина плотины около 660,0 м, из коих 305,0 м занимает водосливная часть плотины (особый у одного крыла плотины водосливный канал), остальные же 355,0 м заняты телом плотины.



Черт. 44 (продолжение).

III. Сводчатые плотины.

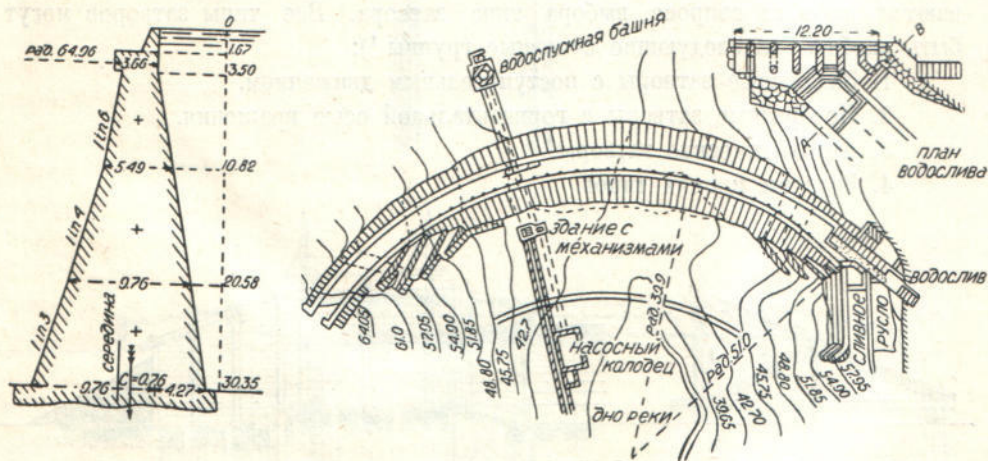
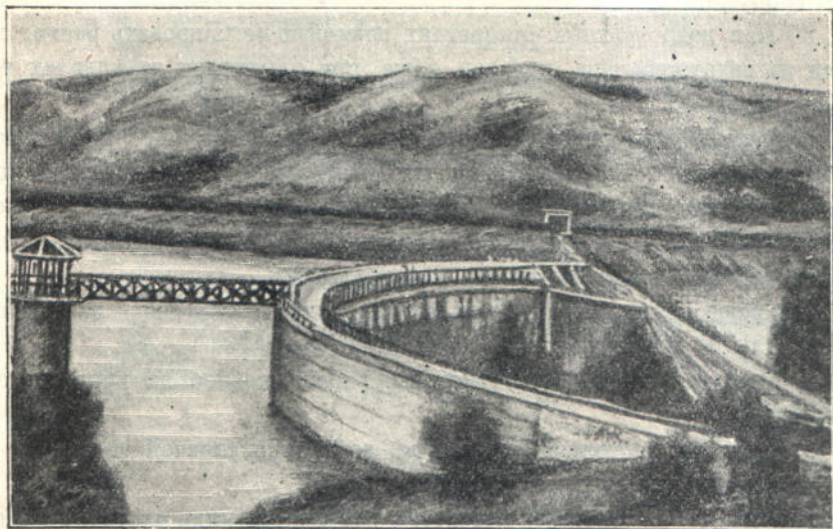
В плотинах, работающих по принципу подпорных стенок, при известных условиях развиваются скалывающиеся усилия. Поэтому при конструировании плотин в определенных условиях приходится ставить дополнительную задачу — уменьшения таковых усилий. Это достигается расположением плотины в плане по своду. В этом случае усилия передаются на опоры, и скалывающие усилия уменьшаются. Этот тип плотин позволяет применять значительные допускаемые напряжения, в силу чего профили сводчатых плотин делаются более легкими, чем в случае тяжелых плотин. Поперечный профиль, применяемый в этого рода плотинах, таков же, как и в тяжелых плотинах.

Примером этого типа плотин служит Суитутерская плотина, изображенная на чертеже 45.

Дальнейшим усовершенствованием сводчатых плотин являются плотины многосводчатые, в коих плотина подразделена на ряд пролетов, перекрытых сводами на быках, наклоненными под некоторым углом к горизонту. Основное качество этого типа плотин — легкость и прочность конструкции и значительная экономия в материале и стоимости, достигающая 31% по сравнению с тяжелыми и сводчатыми плотинами при высоте в 9,15 м и 9% при высоте в 61,0 м.

Ввиду их малого применения и трудности расчета, мы не будем останавливаться на описании их.

Остановимся на последнем разбираемом нами типе водоспускных плотин. Отличие этого типа от плотин глухих и водосливных заключается в следующем:



Черт. 45. План, профиль и общий вид Суйтуотерской плотины.

1) Водоспускные плотины позволяют освобождать водохранилище на полную его глубину, в то время как при плотинах водосливных и особенно при глухих этого достичь нельзя (см. черт. 46).

2) Водоспускные плотины при отверстиях, преграждаемых затворами, допускают освобождение водохранилища, образуемого плотиной, от ила.

3) Водоспускные плотины позволяют удовлетворительно бороться с катастрофическими поднятиями воды в источнике орошения без опасения за целостность сооружения.

4) При водоспускных отверстиях возможно регулировать расход питающихся из водохранилища каналов даже при отсутствии на каналах регуляторов с затворами.

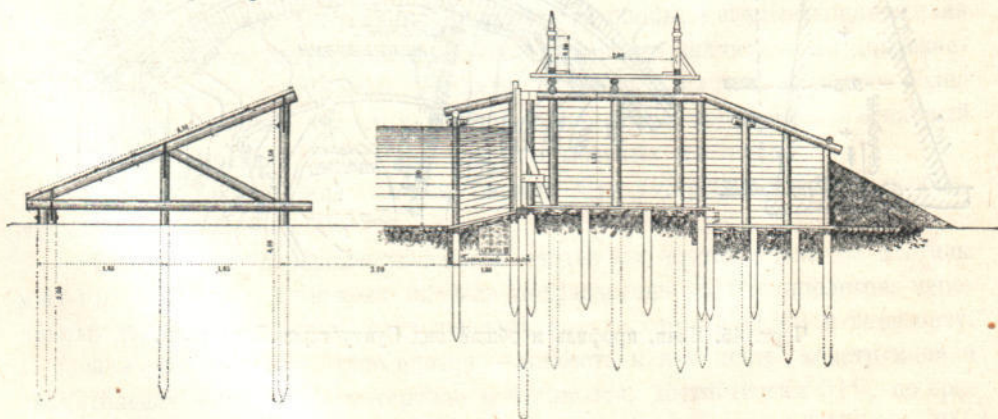
Практика выполнения водоспускных плотин в настоящее время настолько богата различными конструкциями, что благодаря этому почти всегда возможно применить водоспускную плотину независимо от тех или иных условий работы ее. Наконец, конструкция водоспускных плотин значительно проще, легче и экономнее плотин глухих и водосливных.

В основе своей водоспускная плотина имеет следующие элементы:

1. Глухие части плотины.
2. Отверстие (водоспуск) плотины, расположенное на русле источника орошения.
3. Флотбет, состоящий из понура, водобоя и сливной части.
4. Затвора того или иного типа.

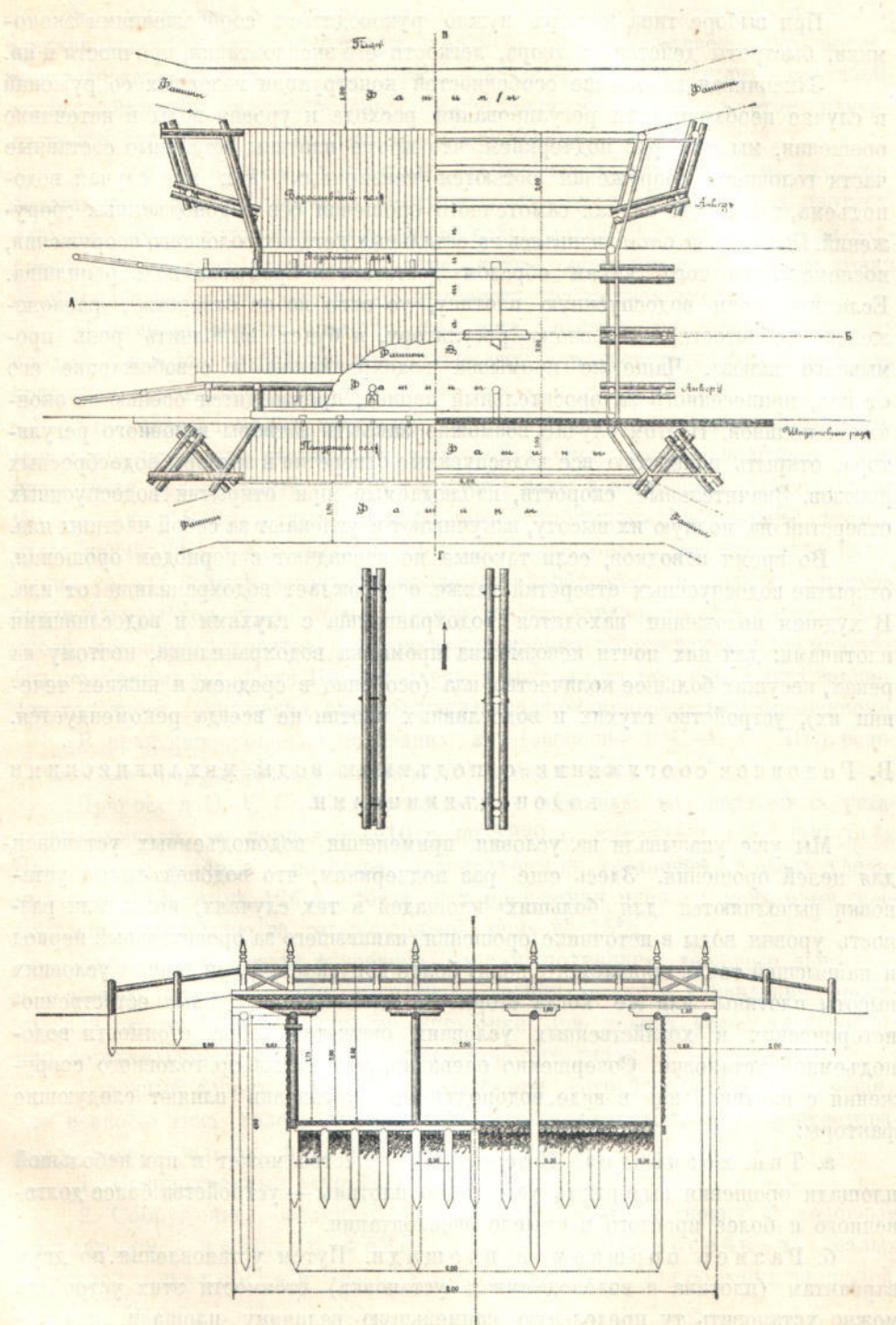
Определив по условиям местности тип конструкции плотины, как сооружения, позволяющего регулировать уровень и расход источника орошения, выполняют расчет отдельных составных частей плотины, при чем останавливаются особо на вопросе выбора типа затвора. Все типы затворов могут быть разбиты на следующие основные группы ¹⁾:

1. Задвижные затворы с поступательным движением.
2. Поворотные затворы с горизонтальной осью вращения.
3. Автоматические затворы.
4. Затворы прочих типов.



Черт. 46. Типы водоспускной плотины (по Р. П. Спарро).

1) Проф. В. В. Подарев. Гидротехнические сооружения 1-й плотины, вып. I, стр. 3.



Черт. 46 (продолжение).

При выборе типа затвора нужно руководиться соображениями экономии, быстроты действия затвора, легкости его эксплуатации, прочности и пр.

Заканчивая изложение особенностей конструкции головных сооружений в случае необходимости регулирования расхода и уровня воды в источнике орошения, мы еще раз подчеркнем, что кроме плотины остальные составные части головного сооружения остаются неизменными как для случая водоподъема, так и для случая самотечного орошения без водоподъемных сооружений. Поэтому, не останавливаясь на остальных деталях головного сооружения, коснемся лишь того, каким образом достигается промывка водохранилища. Если мы имеем водоспускную плотину, то одно из ее отверстий, расположенное поблизости к головному регулятору, и будет выполнять роль промывного шлюза. Чаще же промывка водохранилища и освобождение его от ила, принесенного за оросительный период, производится осенью по окончании поливов. В этом случае возможно закрыть затворы головного регулятора, открыть полностью все водоспускные отверстия и затворы водосбросных шлюзов. Значительные скорости, наблюдаемые при открытии водоспускных отверстий на полную их высоту, взмучивают и увлекают за собой частицы ила.

Во время паводков, если таковые не совпадают с периодом орошения, открытие водоспускных отверстий также освобождает водохранилище от ила. В худшем положении находятся водохранилища с глухими и водосливными плотинами: для них почти невозможна промывка водохранилища, поэтому на реках, несущих большое количество ила (особенно в среднем и нижнем течении их), устройство глухих и водосливных плотин не всегда рекомендуется.

В. Головное сооружение с подъемом воды механическими водоподъемниками.

Мы уже указывали на условия применения водоподъемных установок для целей орошения. Здесь еще раз подчеркнем, что водоподъемные установки выполняются для больших площадей в тех случаях, когда или разность уровня воды в источнике орошения (наинизшего за оросительный период и наивысшей точки орошаемого поля) более допускаемой при данных условиях высоты плотины или же когда стоимость плотины при данных естественно-исторических и хозяйственных условиях окажется выше стоимости водоподъемной установки. Совершенно очевидно, что на выбор головного сооружения с плотиной или в виде водоподъемной установки влияют следующие факторы:

а. Тип хозяйства. Интенсивное хозяйство может и при небольшой площади орошения выдержать устройство плотины — устройства более долговечного и более простого в смысле эксплуатации.

б. Размер орошаемой площади. Путем установления по двум вариантам (плотина и водоподъемная установка) стоимости этих устройств можно установить ту предельную наименьшую величину площади, при которой уже невыгодно будет устройство плотины,

в. Гидрологические данные. Слишком большие колебания режима источника орошения, слишком большие количества взвешенных наносов могут создать условия, при которых водохранилище, образуемое плотиной, может оказаться нерентабельным. Единственным выходом в этом случае является устройство водоподъемного сооружения.

г. Геологические данные. Отсутствие или слишком глубокое залегание скалистых грунтов, могущих служить основанием под плотину, сложение русла источника орошения из водопроницаемых наносов — при значительной разности уровня воды в источнике орошения и наивысшей точки орошаемой площади — заставляют применять водоподъемные установки.

Помимо указанных имеется еще ряд условий, при наличии которых предпочтительнее устройство водоподъемных установок перед плотинами для орошения значительных площадей.

Что касается малых площадей, то для применения водоподъемных установок в этом случае необходимо иметь одно лишь условие: положение наименее низкого за оросительный период горизонта воды в источнике орошения ниже уровня воды в магистральном канале, соответствующего наибольшему расходу этого канала. Если для создания командного над орошаемой площадью положения уровня воды в источнике орошения необходимо выполнить слишком значительную холостую часть магистрального канала, то при условии близости орошаемого участка к источнику орошения рекомендуется применение водоподъемных устройств. И в этих случаях приходится для оценки двух вариантов головного сооружения руководствоваться экономическими соображениями.

В практике орошения последних лет (особенно в С.-А. С. Шт.) водоподъемные сооружения встречаются все чаще и чаще.

Прирост в С.-А. С. Шт. орошаемой с помощью водоподъемных установок площади за период с 1910 г. по 1920 г. выразился в 570 000 га¹⁾. При этом орошаемая с помощью водоподъемных установок площадь увеличилась к 1920 г. на 126%, тогда как орошаемая площадь самотеком подверглась увеличению за тот же период лишь на 15%.

Если бы мы смогли разрешить задачу получения дешевого двигателя и дешевого водоподъемника, то с точки зрения легкости управления оросительной системой водоподъемные установки при всяких условиях были бы предпочтительнее плотин даже самого простого типа.

Головные сооружения с водоподъемными устройствами, кроме общих для всякого типа головных сооружений деталей и головного регулятора, водосбросных шлюзов, имеют следующие части:

1. Водоподъемные устройства того или иного типа.

2. Сооружение, соединяющее водоподъемную установку с головным регулятором, — акведук (желоб), приемный бассейн для малых площадей и приемный бассейн и отстойник для больших площадей.

¹⁾ Проф. Е. Е. Скорняков. Анализ статистических данных по искусственному орошению в С.-А. С. Шт. (Труды Гос. Инст. С.-Х. Мелиораций, вып. I, 1925 г.).

При наличии водоподъемных установок головное сооружение является легким, не требующим больших затрат на строительные работы. Все водоподъемные установки могут быть разбиты нами (по предыдущему) на две основных группы:

1. Установки простейшие — малой мощности и малой высоты подъема.

2. Установки совершенные — большой мощности и значительной высоты подъема.

К первой группе нужно отнести нории, четочные насосы, водоподъемные колеса, архимедов винт.

Ко второй группе нужно отнести спирально-цепные насосы, тараны, центробежные насосы.

Помимо этих типов водоподъемников имеется ряд других, более простых и более совершенных, разрешающих задачу водоподъема в определенных условиях, но все они имеют ограниченное применение, поэтому остановимся на кратком описании указанных выше водоподъемников и на условии их применения.

1. Нория.

Под этим названием имеется в виду механизм, состоящий из вертикального колеса *В*, на ободе которого свободно висит бесконечная цепь с черпаками *С*, опущенными на определенную глубину в приемный колодец или в источник орошения (черт. 47).

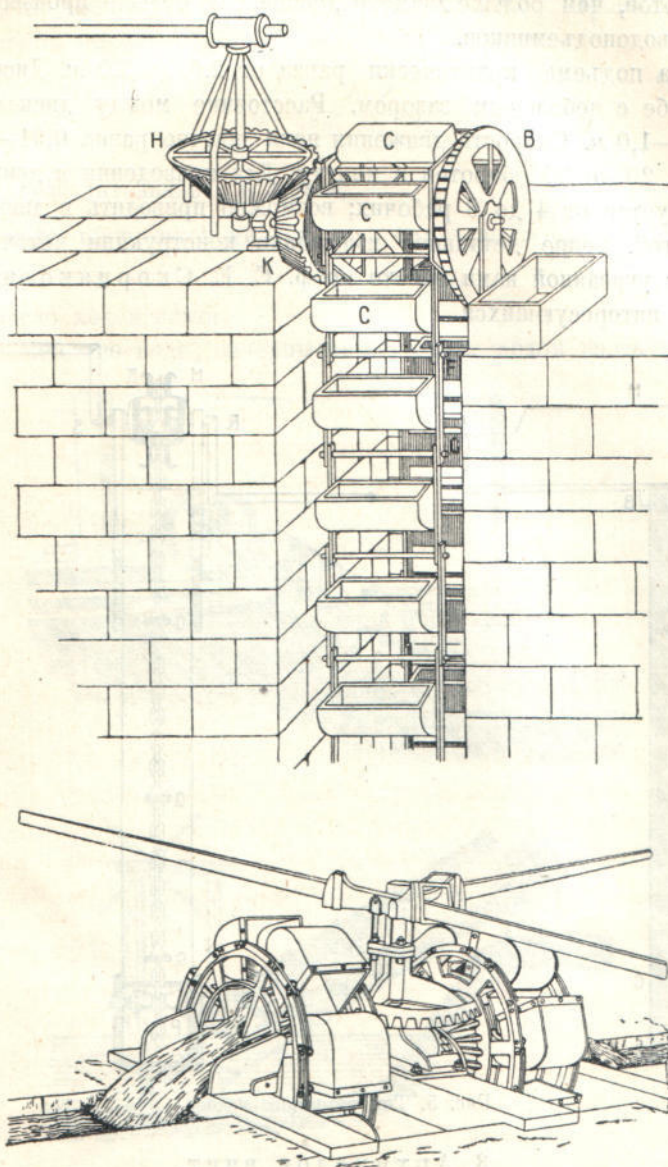
Горизонтальный вал колеса несет коническую шестерню *К*, соединенную с другой такой же шестерней *Н*, укрепленной на вертикальном валу. Вертикальный вал и вторая шестерня приводятся с помощью рычага и того или иного типа двигателя в движение, каковое передается вертикальному колесу. Производительность такого рода водоподъемника зависит от размеров его, от скорости движения цепи, количества жидкости, вычерпываемого одним ковшем.

Высота подъема норией в среднем равна 3,0 м, но при совершенных конструкциях этих водоподъемников высота подъема достигает 21,0 м¹⁾.

Производительность нории не превышает (при практически выполняемых размерах) 6,6 м³ в 1 час, или около 0,0014 м³/сек.

Нории очень распространены на юге Западной Европы и в Алжире, при чем в последнее время устраиваются нории с двумя цепями, что сильно повышает производительность этих водоподъемников.

¹⁾ Проф. Е. Е. Скорняков, Искусственное орошение небольших участков. Часть I, стр. 23.



Черт. 47. Типы норий.

2. Четочный насос.

Простейшим (небольшой производительности и небольшой высоты подъема) водоподъемником является четочный насос, представляющий из себя горизонтальный направляющий барабан с гнездами или спицами для зацепления на нем бесконечной цепи, снабженной по длине дисками (четками), расположенными друг от друга на равном расстоянии (рис. 5). Чем больше

число оборотов, чем больше диаметр дисков, тем больше производительность этого рода водоподъемников.

Высота подъема практически равна от 2,5 до 5,0 м. Диски расположены в трубе с небольшим зазором. Расстояние между дисками делается около 0,76—1,0 м. Скорость движения цепи обычно равна 0,91—1,52 м/сек, что дает от 20 до 30 оборотов в минуту. Для приведения в движение этого насоса требуется от 4 до 8 рабочих; возможно приводить в движение и лошадиной тягой. Более детальное изложение конструкции четочного насоса приведено в указанной нами работе проф. Е. Е. Скорнякова, к каковой и отсылаем интересующихся.

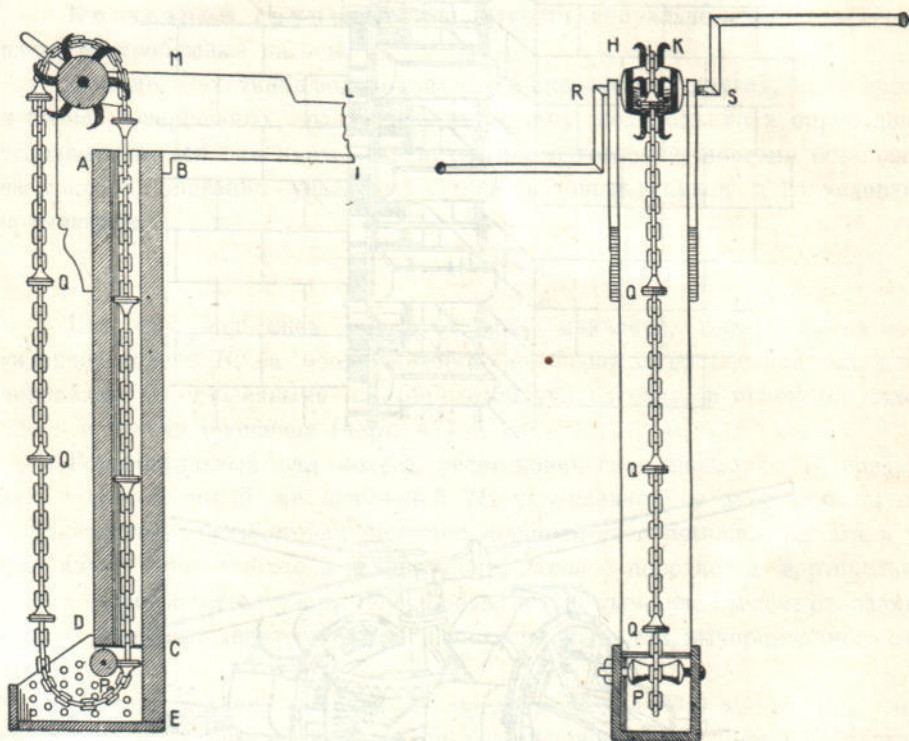


Рис. 5. Тип четочного насоса.

3. Архимедов винт.

Предыдущие водоподъемники обладают незначительной производительностью, но достаточно большой, при имеющихся конструктивных особенностях, высотой подъема. Архимедов винт позволяет поднимать значительные количества воды, но высота подъема воды с помощью его невелика. Обычно наклон винта делается равным 30° , а длина винта в редких случаях превосходит 8,0 м. При таких данных высота подъема H определится следующим равенством:

$$H = 8,0 \sin 30^\circ = 8,0 \cdot 0,5 = 4,0 \text{ м.} \quad (201)$$

Но обычно высота подъема не превышает 3,0 м. Производительность архимедова винта определяется из следующей формулы:

$$Q = \zeta_n \cdot \frac{n \cdot Z}{60} \cdot q, \quad (202)$$

где

Q — производительность в $\text{м}^3/\text{сек}$,

n — число оборотов в минуту, при чем n не $> \frac{21}{R}$, где R — радиус винта в м,

Z — число ходов винта,

q — количество воды, зачерпываемое одним ходом винта в м^3 .

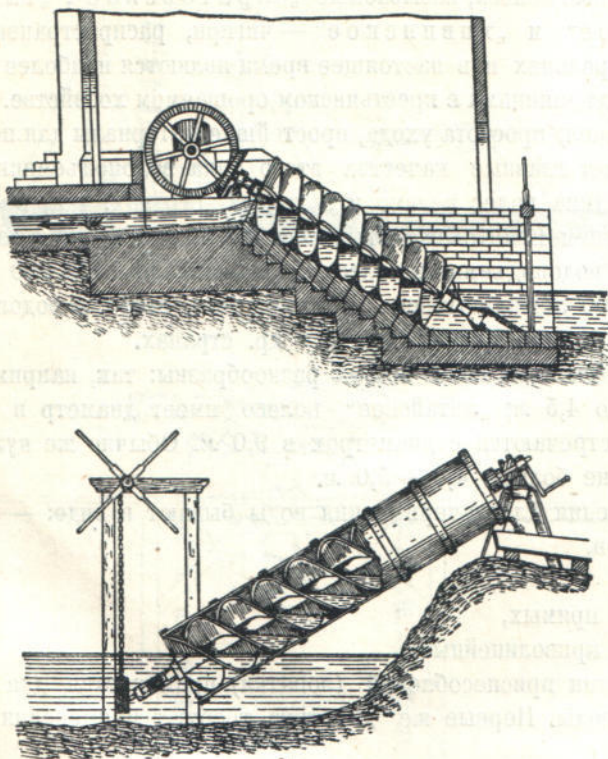


Рис. 6. Тип водоподъемного архимедова винта.

Винты могут быть деревянные, железные, открытые (голландские без кожуха), закрытые. Диаметр винта выполняется от 0,5 до 1,0 м и даже до 2,5 м. Длина винта выполняется от 3,0 до 8,0 м. Диаметр вала делается от 0,15 до 0,30 м. Зазор между винтовыми поверхностями и кожухом (или лотком при открытых винтах) делается не $> 0,005 \text{ м}^1$.

¹⁾ Е. В. Опоков. Винт архимедов — из статьи во II томе Технической Энциклопедии, стр. 224.

Угол наклона винта делается для закрытых не $> 45^\circ$, а для открытых в среднем 30° .

Производительность практически выполняемых винтов достигает $1,0 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Конструкция самого винта и типы установок закрытого винта приводятся на рис. 6¹⁾:

4. Водоподъемное колесо.

Этот тип водоподъемников принадлежит к наиболее распространенным в СССР. Подъемные колеса, называемые „саратовское“, „татарское“, и „болгарское“ и „хивинское“ — чигири, распространены в различных орошаемых районах и в настоящее время являются наиболее распространенными водоподъемниками в крестьянском орошаемом хозяйстве. Дешевизна, легкость выполнения, простота ухода, простейшие материалы для постройки, — вот что составляет главные качества этого типа водоподъемников. Распространение этого типа колес велико и в других странах: так, в 1864 году²⁾ в среднем и нижнем Египте насчитывалось до 50 000 штук „сакие“ (туземное название водоподъемных колес), орошавших до 1 821 250 га и требовавших до 266 000 лошадиных сил. Помимо этого, этот тип водоподъемников употребляется в Индии, Китае, Персии и др. странах.

Размеры подъемных колес весьма разнообразны: так, например, „сакие“ имеет диаметр до 4,5 м; „китайское“ колесо имеет диаметр в 5,14 м; железные колеса встречаются с диаметром в 9,0 м. Обычно же нужно считать диаметр колеса не больше 4,0 — 5,0 м.

Приспособления для зачерпывания воды бывают в виде:

- 1) кувшинов,
- 2) ящиков,
- 3) лопаток прямых,
- 4) лопаток криволинейных.

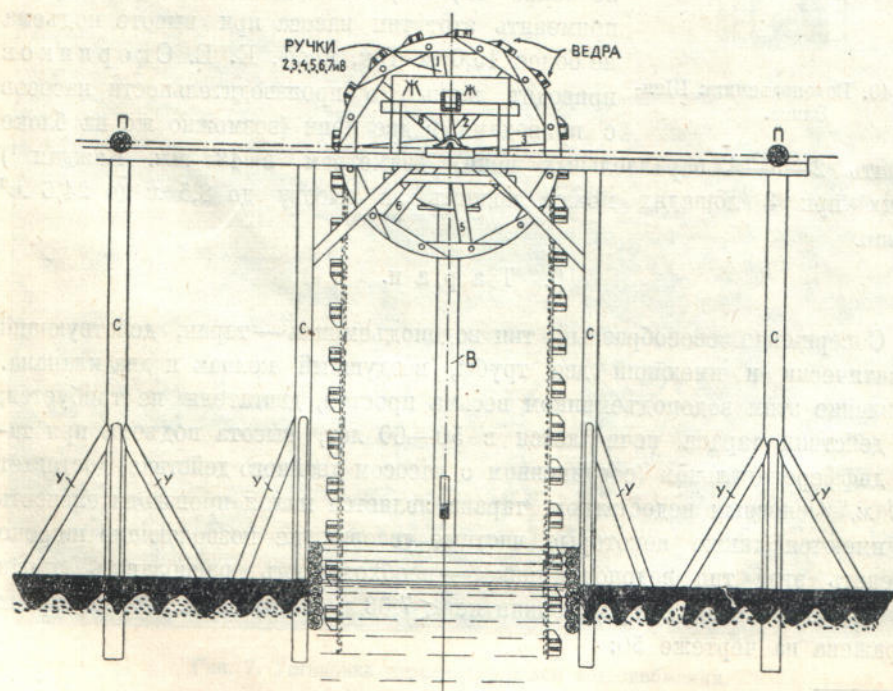
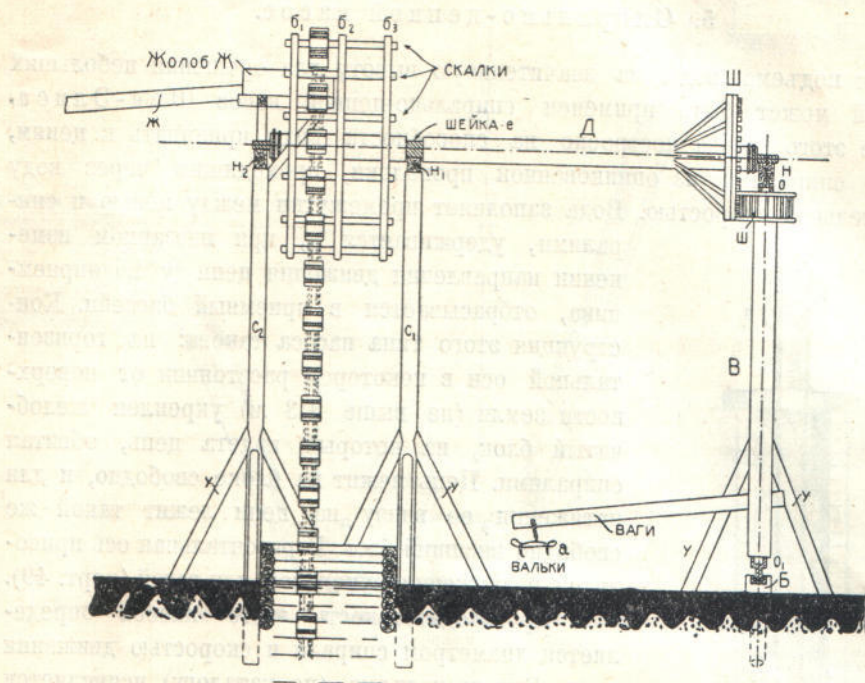
Последний тип приспособлений (лопатки) применяется для колес, движущихся силой воды. Первые же два типа требуют применения двигателей (лошади, быки).

Окружная скорость допускается от 1,0 до 3,0 м/сек, число оборотов от 2 до 5 в минуту.

Конструкция простейшего водоподъемного колеса с живым двигателем изображается на чертеже 48, позаимствованном из работы проф. Е. Е. Скорнякова:

1) Е. В. Оппоков. Указанная работа, стр. 225—376—381—379.

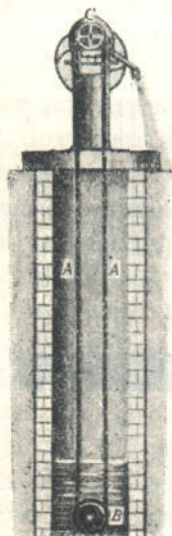
2) Леви Сальводор. Сельскохозяйств. гидравлика, перевод В. Дингельштедта, стр. 384.



Черт. 48. Саратовский чигирь.

5. Спирально-цепной насос.

Для подъема воды на значительную высоту для орошения небольших площадей может быть применен спирально-цепной насос Шен-Элиса. Действие этого насоса построено на способности воды прилипать к цепям, обвитым спиралями из оцинкованной проволоки, проходящим через воду с значительной скоростью. Вода заполняет промежутки между цепью и спи-



Черт. 49. Водоподъемник Шен-Элиса.

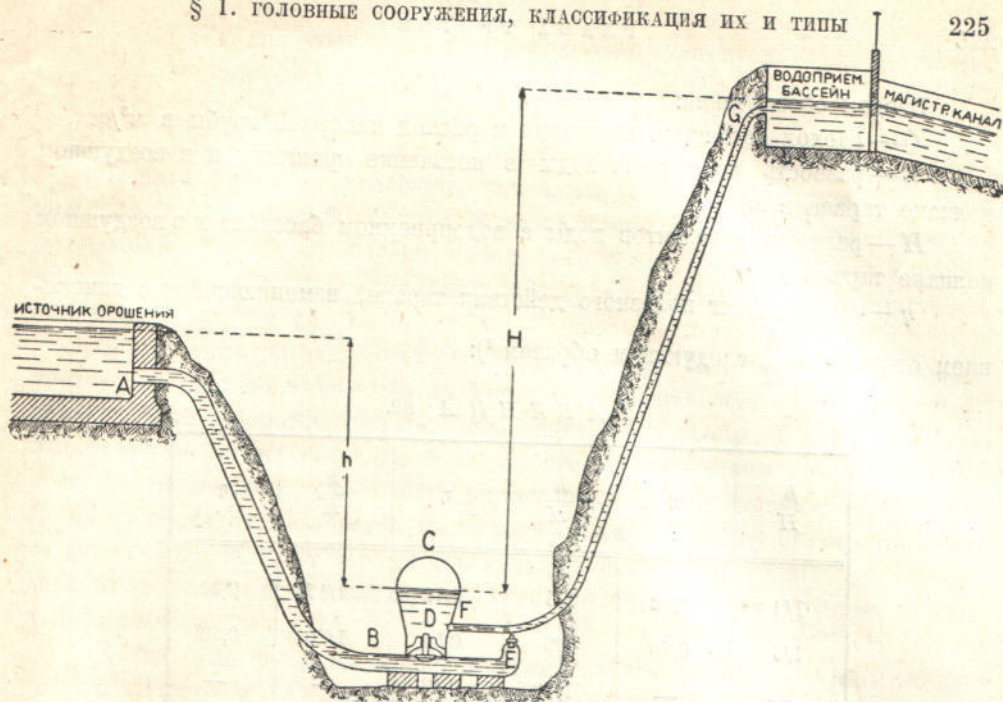
ралями, удерживается и, при внезапном изменении направления движения цепи у водоприемника, отбрасывается в приемный бассейн. Конструкция этого типа насоса такова: на горизонтальной оси в некотором расстоянии от поверхности земли (не выше 1,3 м) укреплен желобчатый блок, на который надета цепь, обвитая спиралями. Цепь лежит на блоке свободно, и для натяжения ее внизу на цепи лежит такой же свободно висящий блок. Горизонтальная ось приводится в движение рукояткой или вагой (черт. 49).

Производительность этого насоса определяется диаметром спирали и скоростью движения цепи. Высота подъема (по каталогу) исчисляется не более 40,0 м, но практически лучше всего применять этот тип насоса при высоте подъема не более 15,0 м. Так, проф. Е. Е. Скорняков приводит данные о производительности насосов с приводами в две цепи (возможно же на блоке укрепить 2—3—4 параллельных цепи) диаметром в 43 мм. Каждая ¹⁾ из них при 3 лошадей может поднять на высоту до 8,5 м до 24,6 м³ в 1 час.

6. Т а р а н.

Совершенно своеобразный тип водоподъемника — таран, действующий автоматически и имеющий две трубы, воздушный колпак и два клапана. Управление этим водоподъемником весьма простое, двигателя не требуется; срок действия тарана исчисляется в 50—60 лет, высота подъема при таране дифференциальном (соединенном с насосом двойного действия) достигает 240,0 м. Основным недостатком тарана является малая производительность его; имеются также некоторые частные условия, не позволяющие широко применять этот тип водоподъемника, — необходимость располагать таран ниже источника воды и в расстоянии не $< 7,63$ м от такового. Схема тарана изображена на чертеже 50:

¹⁾ Проф. Е. Е. Скорняков. Указанная работа, стр. 25.



Черт. 50. Схема тарана и расположение его по отношению к источнику орошения и орошаемому полю.

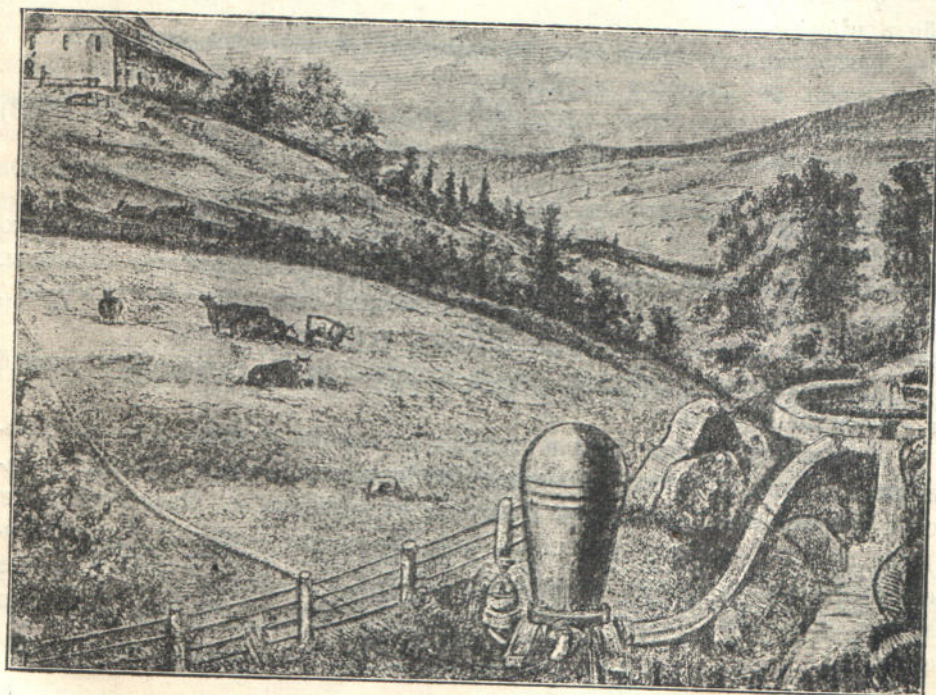


Рис. 7. Установка тарана для целей водоснабжения.

Орошение.

Введем обозначения:

Q — расход источника орошения и расход напорной трубы в $\text{м}^3/\text{сек}$,

h — разность горизонтов воды в источнике орошения и в воздушном колпаке тарана в м ,

H — разность горизонтов воды в водоприемном бассейне и в воздушном колпаке тарана в м ,

η — коэффициент полезного действия тарана, изменяющийся с изменением отношения $\frac{h}{H}$ следующим образом ¹⁾:

ТАБЛИЦА 88.

$\frac{h}{H}$	η	$\frac{h}{H}$	η	$\frac{h}{H}$	η
1/2	0,92	1/5	0,72	1/17	0,32
1/3	0,89	1/9	0,56	1/20	0,23
—	—	1/13	0,43	—	—

q — количество воды, которое нужно подать в водоприемный бассейн в $\text{м}^3/\text{сек}$.

Между этими величинами существует следующая зависимость ²⁾:

$$q = \eta \frac{Q \cdot h}{H} \text{ м}^3/\text{сек}. \quad (203)$$

Величина h должна быть не менее 0,45 м и не более 15,24 м.

При значительных h , дабы таран не разрушился, вводят в напорную трубу дополнительные сопротивления того или иного характера (клапаны, спирали, сужения и пр.). Расход Q не должен быть менее 0,003 $\text{м}^3/\text{мин}$., только в этом случае таран будет работать удовлетворительно.

Для правильного действия тарана напорная труба должна быть длиной от 7,62 м до 19,81 м.

Производительность тарана зависит от высоты падения воды и от величины расхода источника орошения. Что касается высоты подъема, то такая теоретически безгранична и зависит от величины h . Практически же: 1) для простых таранов $H = 30h - 40h$, 2) тараны — насосы с дифференциальным поршнем (редко применяемые) имеют $H = 125h$ и даже в редких случаях $H = 266h$ (имелся случай, когда при $h = 0,9$ м вода поднялась на 240 м).

¹⁾ Шарпантье де-Коссиньи. Указанная работа, стр. 124.

²⁾ Е. Е. Скорняков. Указанная работа, стр. 34.

7. Центробежные насосы.

В ряде формул, приведенных выше, мы устанавливали, что производительность водоподъемника определяется размером его и скоростью движения водоподъемного приспособления (числа оборотов, например, цепей норин, четочного насоса, насоса Шен-Элиса, колеса чигиря, винтовых поверхностей, архимедова винта и т. п.).

Таким образом для всех водоподъемников, за исключением тарана, увеличение производительности должно идти, главным образом, за счет увеличения числа оборотов деталей, находящихся во вращательном движении. Значительное число оборотов было достигнуто изменением конструкции колеса и применением различных двигателей большой мощности. В конце XVIII столетия был изобретен центробежный насос, но широкое практическое применение этот водоподъемник получил лишь в 1851 году благодаря ряду усовершенствований, которые внесли в его конструкцию Гвин и Бессемер.

Центробежные насосы подразделяются на две основных группы ¹⁾:

1. Насосы низкого давления — без направляющего колеса, с высотой подъема до 20,0 м.

2. Насосы высокого давления — с направляющим колесом и с высотой подъема до 70,0 м, — турбонасосы — турбинные насосы.

Если представляется необходимым поднять воду выше указанных пределов, то конструируются насосы с несколькими колесами на одном валу: такого рода многоступенчатые насосы позволяют поднимать воду на высоту до 900,0 м. Высота подъема H при нагнетании зависит от окружной скорости на колесе насоса ²⁾ V_a и выражается следующими соотношениями: для насосов низкого давления без направляющего колеса

$$H = \frac{(V_a)^2}{(4,8)^2} \text{ м}, \quad (204)$$

для насосов высокого давления с направляющим колесом

$$H = \frac{(V_a)^2}{(4,3)^2} \text{ м}. \quad (205)$$

Окружная скорость принимается в 33,0—35,0 м/сек и редко достигает 40,0 м/сек. Следовательно (указанное относится к одноступенчатым насосам) предельная высота подъема (нагнетания) будет (при $V_a = 35,0$ м/сек) для насосов низкого давления — $\infty 54$ м, для насосов высокого давления — $\infty 66$ м.

¹⁾ Hütte. Т. II, стр. 589.

²⁾ Hütte. Указанная работа, стр. 594.

Если принять высоту всасывания (практически достигаемую в 4—5 м), то полная высота подъема может быть получена при

1-й группе насосов —	58—59 м,
2-й „ „ „ —	70—71 м.

Насос может быть употребляем для высоты подъема меньшей предельной для него, — при уменьшении окружной скорости и производительности насоса.

Центробежные насосы в зависимости от их мощности могут быть устанавливаемы трояким образом:

1. Передвижная установка — малый насос на тележке, передвигаемый в пределах орошаемой площади вместе с двигателем малой мощности (обычно внутреннего сгорания или локобилем).

2. Постоянная установка — насос средней или значительной мощности с двигателем большой силы установлен в одном пункте в особом для сего выстроенном здании.

3. Пловучая установка — насос малой или средней мощности с двигателем парового типа или с керосиновым мотором, установленным на шаланде, барже, каковая приводится в движение тем же двигателем. Он редко применяется, но может быть рекомендован при расположении орошаемых площадей узкой лентой вблизи береговой линии.

Не касаясь основ расчета центробежных насосов и отсылая интересующихся к соответствующим руководствам, здесь можно указать, что для выбора размеров насоса нужно иметь следующие предварительные данные:

1. Характер режима рек, — значительные колебания режима могут принудить нас вместо постоянной насосной установки применить пловучую установку.

2. Полная высота подъема, — эти сведения при необходимости подачи определенных количеств воды позволят нам определить мощность двигателя.

3. Поливную кривую, — эти данные позволят нам определить размер насоса.

4. Тип хозяйства, — им определяется основное положение — возможность применения насосной установки, ибо таковая требует значительных затрат, а следовательно, и интенсивных форм хозяйства.

Так, например, С. Ю. Раунер¹⁾ указывает, что при зерновом хозяйстве насосная установка возможна лишь при высоте подъема не более 8,5 м.

В силу того, что насосная установка позволяет ставить орошаемое хозяйство — снабжение его водой — независимо от режима источника ороше-

¹⁾ С. Ю. Раунер. Указанная работа, стр. 199.

ния, точнее, от колебаний уровня воды в источнике орошения, этот тип головных сооружений с этой точки зрения должен быть признан за наиболее усовершенствованный.

Предел применения этого типа водоподъемного устройства кроется в стоимости его.

§ 2. ОРОСИТЕЛЬНАЯ И ПОЛИВНАЯ СЕТЬ.

Наиболее ответственными сооружениями в оросительных системах являются головные сооружения. При правильном их действии возможно быть уверенным, что оросительная система получит в нужном количестве и в необходимые моменты воду для орошения культурных земель. Поэтому в каждом оросительном проекте сосредоточивают внимание на рациональном и рентабельном разрешении задачи вывода воды из источника орошения. Получив из источника орошения определенные количества воды, стремятся запроектировать транспортирующий аппарат системы (оросительную сеть) с таким расчетом, чтобы сеть:

- 1) была наименьшей стоимости,
- 2) гарантировала нам наименьшие потери воды,
- 3) была так выполнена, чтобы на ней возможно было организовать правильное водопользование.

Для достижения поставленной цели оросительная сеть должна обладать следующими свойствами: быть по возможности короче, иметь по возможности меньшие поперечные размеры, обслуживать в элементарных своих частях по возможности равные площади, быть выполняемой в водонепроницаемых или в плохо водопроницаемых грунтах, иметь уклон в строго определенных пределах, гарантирующих отсутствие размывания и заиливания каналов, иметь поперечные профили применительно к рельефу местности, дать эксплуатирующим систему уверенность, что в каждую точку орошаемой площади будет подана вода в нужном количестве и в нужное время. Если все эти основные (есть еще ряд второстепенных условий) условия будут соблюдены, то 3 качества рациональной сети будут достигнуты, и оросительная система будет и рентабельна и долговечна.

Анализ составных элементов поперечного профиля оросительных каналов мы проделали в части I настоящей работы, здесь же мы установим классификацию каналов, укажем, каковы должны быть пределы развития сети, приведем данные о существующих оросительных системах, а также охарактеризуем коэффициент полезного действия некоторых выполненных систем.

А. Классификация каналов оросительной системы.

Все каналы оросительной системы возможно разделить на две совершенно не равные группы ¹⁾:

¹⁾ А. Н. Костяков. Элементы расчета оросительных систем, стр. 3.

1. Проводящая сеть — сеть каналов, задача коих подвести оросительную воду из источника орошения к орошаемому полю.

2. Регулирующая сеть — сеть каналов, задача коих развести воду по орошаемому полю.

Из самой классификации явствует, что площадь распространения первой группы каналов велика и изменяется в самых разнообразных пределах, площадь же, на которой может быть разбита вторая группа каналов, весьма незначительна и не превышает обычно 1,1—1,7 га. Мы выше устанавливали понятие о той площади, которая поливается одновременно некоторым постоянным для данных условий током (поливной струей, поливным расходом), называя ее поливной площадкой. Все каналы, расположенные в пределах поливной площадки, составляют регулируемую сеть данной оросительной системы. Так как наилучшим размером поливной площади являются 1,1—1,7 га, то при наилучших соотношениях ширины и длины поливной площадки (согласно сказанному выше) длина должна быть равна удвоенной ширине. Так как обычно площадки располагаются таким образом, что питающая (оросительная) канава идет по ширине площади, то наивыгоднейшая длина этого элемента регулирующей сети будет равна около 75—92 м. Помимо оросительных канав в состав регулирующей сети входят поливные бороздки, канавки между джояками (зигзагообразные грядки), грядками, горизонтальные и наклонные канавки при поливе напуском и пр. Этот элемент регулирующей сети зависит от ряда естественно-исторических факторов, и подобрать строго фиксированные размеры их весьма трудно. При равномерных уклонах, средних почвах, средних поливных нормах длина пути, проходимого по уклону оросительной водой, является наилучшей в том случае, если она равна двойной длине оросительной канавы, т.е. 150—184 м. При поливе по бороздкам эта величина равнозначуща длине бороздки, при поливе напуском эта величина соответствует расстоянию между горизонтальными и наклонными канавами, при поливе по джоякам эта величина равна сумме ширин грядок-джояков, при поливе по грядкам эта величина равна длине междюжков канавок и т. п.

Что касается проводящей сети, то таковая в нормально запроектированных системах состоит из следующих каналов:

1. Магистральный канал — выполняющий задачу соединения источника орошения через головное сооружение с каналами, распределяющими воду по орошаемой площади.

2. Ветви магистрального канала: при известных случаях рельефа приходится воду подводить к весьма крупным, включающим несколько водопользовательных единиц площадям; для этой цели и служат ветви магистрального канала.

3. Групповые распределители — каналы, обслуживающие

группы (большого или меньшего размера) водопользовательных единиц — околотов.

4. Межokolотовые распределители: при известном характере рельефа приходится трассировать каналы, которые обслуживают внутри данной группы некоторое количество околотов.

5. Околотовые распределители: вся трасса сети может быть развита с таким расчетом, что за элементарную водопользовательную единицу — околотов — принимается некоторая малая площадь, колеблющаяся в пределах от 32 га до 132 га (в среднем для различных типов рельефа), обслуживаемая околотовым распределителем.

6. Внутриokolотовый распределитель: особенности рельефа могут вызвать необходимость в проведении внутри околотова дополнительных каналов, дающих воду на некоторое количество хозяйственных единиц — наделов, — эти каналы носят название внутриokolотовых распределителей.

7. Надельные распределители (оросители). От околотовых или внутриokolотовых распределителей берут начало надельные распределители (оросители), подающие воду на 1 хозяйственную единицу — надел (клин севооборота и пр.).

Последовательность в движении воды от источника орошения до поливной площадки (точнее до регулирующей сети, состоящей из оросительных канавок) наблюдается следующая:

I. Рельеф пересеченный, — вода подается из источника орошения головным сооружением в магистральный канал; из него отходящими от него ветвями вода подводится к головам групповых распределителей; по групповым распределителям вода подается к головам отходящих от групповых распределителей межokolотовых распределителей; далее вода по околотовым распределителям, берущим свое начало от межokolотовых распределителей, подводится к околотов; в пределах околотова вода разводится внутриokolотовыми распределителями; из этих последних берут начало надельные распределители (оросители), кои подводят воду к хозяйственным единицам — наделам, клиньям и т. п.; наконец, из надельных распределителей вода попадает в регулирующую сеть.

II. Рельеф спокойный. — В этом случае схема подведения воды к поливным площадкам упрощается и представляется в следующем виде: источник орошения — головное сооружение — магистральный канал — групповые распределители — околотовые распределители — надельные распределители — регулирующая сеть.

Как та, так и другая схемы в чистом виде редко встречаются; чаще всего мы имеем в трассе комбинацию из этих двух схем следующего порядка.

Условимся обозначать: магистральный канал — *М*, ветвь — *В*, групповой распределитель — *Гр*, междокотковый распределитель — *МО*, околотовый распределитель — *О*, внутриокотковый распределитель — *ВО* и наделный распределитель (ороситель) — *Н*; в зависимости от характера рельефа наличие каналов той или иной категории указывается в следующей таблице:

ТАБЛИЦА 89.

Тип трассы	<i>М</i>	<i>В</i>	<i>Гр</i>	<i>МО</i>	<i>О</i>	<i>ВО</i>	<i>Н</i>	Характеристика рельефа орос. пл., гр. ок.
1	+	+	+	+	+	+	+	{ Пересеченный по всей площади.
2	+	+	+	+	+	0	+	{ Волнистый со спокойным в пределах околотов.
3	+	+	+	0	+	0	+	{ С увалами, но в пределах групп спокойный.
4	+	0	+	0	+	+	+	{ Спокойный с местными всхолмлениями.
5	+	0	+	+	+	0	+	{ Спокойный с местными всхолмлениями.
6	+	+	+	0	+	+	+	{ Пересеченный с местными плоскостями.
7	+	0	+	+	+	+	+	{ На скате с местными всхолмлениями.
8	+	0	+	0	+	0	+	{ Спокойный по всей площади.
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <p>+</p><p>0</p> </div> <div style="margin-right: 10px;"> <p>— имеется канал</p><p>— отсутствует канал</p> </div> <div style="font-size: 2em;">}</div> <div>данной категории.</div> </div>								

Приведенная комбинация категорий каналов в трассе оросительной сети в зависимости от характера рельефа есть первое приближение к разрешению задачи о разбивке всех видов рельефа с точки зрения необходимости той или иной трассы оросительной сети. Для правильного проектирования такая группировка рельефов нужна, но данных по этому вопросу (за исключением работы проф. Г. К. Ризенкампа — Мысли по методике проектирования ирригационных систем, Изв. Научн.-Мелиор. Института, № 2, 1922 г.) в оросительной литературе не имеется.

Б. ПРЕДЕЛЫ РАЗВИТИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.

При всякого рода рельефах мы наблюдаем некоторую закономерность в густоте сети — в количестве или длине сети на единицу орошаемой площади. Если мы зададимся условиями совершенно спокойного рельефа с горизонталями, идущими почти параллельно друг другу и с малым уклоном, примем по А. Н. Костякову¹⁾ первый тип расположения внутри-околотковой сети, то по этой схеме (при $b = 75$ м, $l_2 = 150$ м — размерах поливн. площади) имеем, для размера околотка в 12 хозяйственных единиц по 12 *га* каждая, длину отдельных категорий:

Магистральн. канал	0,9 км
Групповой распределитель	1,6 "
Околотковый распределитель	0,75 "
Надельный распределитель	9,6 "

что на 1 *га* составит:

Магистральн. канал	0,0062 км
Групповой распределитель	0,0111 "
Околотковый распределитель	0,0052 "
Надельный распределитель	0,0667 "
Всего	0,0892 км

из коих²⁾:

Магистральн. канал	0,0062 км — 7%
Мелкая сеть	0,0163 км — 18,3%
Мельчайш. сеть	0,0667 км — 74,7%

Остальные типы трасс дадут для этого случая рельефа большую густоту оросительной сети.

Ввиду того, что по А. Н. Костякову указанный тип трассы является для данного рельефа наимыгоднейшим, т.е. обладающим наименьшей длиной каналов, то можно считать, что при $b = 75,0$ м и $l_2 = 150,0$ м густота сети не должна превышать указанных цифр.

Для случая спокойного рельефа с крутым уклоном для одной водопользовательной единицы, по предыдущему примеру, имеем длину каналов различной категории:

Магистральн. канал	3,6 км
Групповой распределитель	0,375 "
Околотковый распределитель	3,6 "
Надельный распределитель	4,5 "

¹⁾ А. Н. Костяков. Указанная работа, стр. 241.

²⁾ Применительно к терминологии средне-азиатских пригаторов.

что на 1 га составит:

Магистральный канал	0,0254 км
Групповой распределитель	0,0027 "
Околотковый распределитель	0,0254 "
Надельный распределитель	0,0313 "
Всего	0,0848 км

из коих:

На магистральн. канал	0,0254 км—30 ⁰ / ₀
„ мелкую сеть	0,0281 км—33,1 ⁰ / ₀
„ мельчайшую сеть	0,0313 км—36,9 ⁰ / ₀

Наконец, для случая со средним уклоном спокойного рельефа имеем на 1 водопользовательную единицу длину каналов различных категорий:

Магистральный канал	3,2 км
Групповой распределитель	0,45 "
Околотковый распределитель	3,2 "
Внутриоколотковый распределитель	0,9 "
Надельный распределитель	9,6 "

что на 1 га составит:

Магистральный канал	0,0222 км
Групповой распределитель	0,0031 "
Околотковый распределитель	0,0222 "
Надельный распределитель	0,0667 "
Всего	0,1142 км

из коих:

На магистральный канал	0,0222 км—19,4 ⁰ / ₀
„ мелкую сеть	0,0031 км—2,7 ⁰ / ₀
„ мельчайшую сеть	0,0889 км—77,9 ⁰ / ₀

В. ХАРАКТЕРИСТИКА СУЩЕСТВУЮЩИХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.

В изложенном выше мы вкратце коснулись характера оросительной сети при наивыгоднейшем ее расположении. Этот характер определялся нами густотой сети. Сравнив абсолютные и относительные значения густоты оросительной сети при трех значениях уклона спокойного рельефа, получим следующие цифры:

ТАБЛИЦА 90.

Рельеф Категория каналов	Малый уклон		Крутой уклон		Средний уклон	
	км	‰	км	‰	км	‰
Магистральный	0,0062	7	0,0254	30	0,0222	19,4
Мелкая сеть	0,0163	18,3	0,0281	33,1	0,0031	2,7
Мельчайшая сеть	0,0667	74,7	0,0313	36,9	0,0889	77,9
Итого . .	0,0892	100,0	0,0848	100,0	0,1142	100,0

Для сравнения приведенных цифр с густотой сети в существующих оросительных системах приведем средние данные о густоте сети для некоторых систем Индии:

ТАБЛИЦА 91.

Оросительная система	Д л и н а н а 1 га	
	Магистр. кан.	Мелкой сети
	в километрах	
В. Гангесская	0,0010	0,0063
Н. Гангесская	0,0028	0,0111
Агрская	0,0027	0,0097
Э. Джумна	0,0023	0,0104
Бари-Доабская	0,0017	0,0102
Н. Чинабская	0,0009	0,0044
В среднем . .	0,0019	0,0087

Цифры этой таблицы показывают, что оросительная сеть этих систем весьма слабо развита, ибо она ни для одной системы не достигает значений, указанных в таблице 90.

Г. Коэффициент полезного действия некоторых существующих систем.

В первой части настоящей работы мы устанавливали способы определения величины потери оросительной воды при прохождении ее по каналам оросительной сети, а также те закономерности, которые наблюдаются в этом явлении. В настоящем параграфе мы остановимся на некоторых данных относительно коэффициента полезного действия существующих оросительных систем. Наилучшим образом потери характеризуются относительной величиной — величиной потерь в $\%/\%$ на единицу длины канала.

Вопрос изучения потерь в каналах оросительных систем интересовал проектирующих с самых начальных моментов сооружения технически-рациональных оросительных систем. Еще в 70-х и 80-х годах прошлого столетия потери в каналах наблюдались на оросительных системах Индии и С.-А. С. Шт. Не ставя перед собой задачу исчерпывающе охарактеризовать значение потерь в каналах оросительной сети, мы дадим некоторые данные по этому вопросу для оросительных систем Индии и С.-А. С. Шт., приводимых проф. А. Н. Костяковым, инж. И. И. Знаменским и другими. Эти цифры с некоторыми выводами, сделанными этими авторами, позволят нам в общих чертах уяснить себе масштаб этого явления. Знание потерь количественно и качественно, а также характер условий, для которых свойственны те или другие потери, позволят нам наметить в конце настоящего параграфа мероприятия, позволяющие нам бороться с этим вредным явлением.

Величина потерь для некоторых систем Индии и С.-А. С. Шт. приводится в таблице 92.

Таким образом приведенные цифры не дают нам характеристики условий, определяющих ту или иную величину потерь. Наряду с этими цифрами мы приведем некоторые выводы Фортъе, Странге, Э. Мида, поставивших величину потерь в зависимость от величины расхода канала (см. таблицу 93).

Данные Фортъе и Мида близки друг другу, а данные Странге отличаются от данных других двух авторов в 3—4 раза. Нужно признать данные Фортъе более близкими к действительности, ибо они основаны на большом (свыше 350) числе наблюдений.

Для условий Туркестана по данным Гидромультипликаторной части б. Отд. Зем. Улучшений коэффициент полезного действия туземных и технически правильно выполненных оросительных систем определяется цифрами, приведенными в табл. 94 на стр. 238 ¹⁾:

¹⁾ Из общих отчетов Гидромультипликаторной части в Туркестане за 1914 и 1915 гг.

ТАБЛИЦА 92.

Страна	Система, канал	Потери % на 1 м
Индия	Гангесская	0,08
”	Бари-Доабская	0,04
”	Нира	0,22
”	Мута	0,20
С.-А. С. Шт.	Колорадо—среднее для всех систем . . .	0,51—1,1
”	Ута-Медвежья река—среднее	1,2
”	” — наибол., наимен.	3,3—0,35
”	Ута—Соленое озеро	0,8
”	” —Девиз и Вебер	2,6
”	” —Гайд-парк и Смитфильд . . .	29,3
”	Вайоминг—среднее для всех систем . . .	2,7
”	Распред. Митчель	0,30
”	Геринг	0,95
”	Фермерские	2,91
”	Монтана—Мидль-Крик	5,0
”	Аризона-Твин-Фолс:	
	гл. канал	0,9
	бок. канал	2,33

ТАБЛИЦА 93.

Расход канала м ³ /сек	Величина потерь в ‰ на 1 км		
	По Фортъе	По Странге	По Миду
0,283	18,27	6,04	} 7,48
0,283—0,708	12,23	3,02	
0,708—1,416	5,59	1,51	5,22
1,146—2,832	3,55	0,76	2,67
2,832	1,34	0,38	0,98

ТАБЛИЦА 94.

Район, где изучались потери	Расход главн. канал. изуч. сист. м ³ /сек	Распред. единицы воды			η
		Потребл. растения	Сброс с систем	Потери	
Река Исфара-Сай — Ферг. обл. . .	0,11	0,746	0	0,254	0,75
„ Иски-Ташкент — Сыр-Дар. обл.	0,271	0,447	0,269	0,284	0,61
Пос. В. Алексеевский — Гол. Степь.	0,499	0,303	0,126	0,571	0,43
Дол. р. Зеравшана — Самарк. обл.	0,289	0,372	0,069	0,559	0,40
Пос. В. Алексеевский — Гол. Степь.	0,308	0,721	0,170	0,109	0,87
„ Сл. Хутора — Гол. Степь . .	0,673	0,392	0	0,608	0,39
Катта — Кург. у. — Самарк. обл. .	0,674	0,461	0,225	0,314	0,60
Скобелевский у. — Ферганск. обл. .	0,217	0,297	0,176	0,527	0,36
Перовск. у. — Сыр-Дарьинск. обл. .	0,676	0,242	0	0,758	0,24
Семиреченск. обл.	—	0,64	0	0,36	0,64

Для Туркестана коэффициент полезного действия системы колеблется в пределах от 0,24 до 0,87, а потери в ‰ от расхода в голове в пределах от 10,9‰ до 75,8‰. Достигая значительных размеров (до 75,8‰ валовых и до 29,3‰ на 1 милю), потери должны иметь большое влияние на орошаемое хозяйство. В нашей работе — Материалы по водопользованию в Туркестанском крае ¹⁾ — мы уже констатировали связь между коэффициентом полезного действия и продолжительностью того периода, в который дается вода для дачи того или иного полива по данному культурному растению (периода полива). По таблице 36 указанной работы, при повышении коэффициента от 0,4 до 0,6 величина периода полива для 3 различных районов уменьшается на 9 (Исфара), 12,1 (Иски-Ташкент) и 11,1 (Самарканд) суток.

Практическое значение увеличения коэффициента полезного действия оросительной системы в этом случае заключается в том, что мы можем за счет повышения коэффициента полезного действия системы сократить период полива, а следовательно, и оросительный период, что в свою очередь позволит нам распределить поливы более компактно и, может быть, отказаться от необходимости устраивать водохранилище. Поскольку в орошаемом хозяйстве важно снижать потери теми или иными техническими мероприя-

¹⁾ Б. С. Арканов. Указанная работа, стр. 61—62.

тиями, показывает пример одной оросительной сети в графстве Сан-Диего в Южной Калифорнии ¹⁾, где таковая состоит из металлических труб различных размеров, заложенных глубоко в почву и подающих воду через особые разборные колонки (по типу водопроводных) на участки от 5 до 10 акров.

В этой оросительной системе культивируются особо ценные растения (апельсины и пр.), воды там ограниченное количество и расценивается она высоко, и вследствие этих причин на снабжение 36 264 га оросительной сетью из металлических труб затрачено было 1 005 528 руб., что составит до 278 руб. на 1 га.

Характеристика этой оросительной сети, получающей воду из водохранилища Свитуотер, представлена в нижеследующей таблице:

ТАБЛИЦА 95.

Наименование линии	Диаметр в см	Длина в метрах	Материал труб
Главная	90	487,7	Чугунные
„	75	792,5	„
Распредел. 60 см	60	243,2	„
„ 45 „	45	5 019,6	„
„ 30 „	30	10 952,1	„
„ 20 „	20	3 548,1	Железные
„ 15 „	15	45 784,9	„
„ 10 „	10	15 467,1	„
„ 7,5 „	7,5	231,7	Гальван. жел.
„ 5 „	5	574,5	„ „
Всего . . .	—	83 101,4	

∞ 83,1 км
при расходе главной трубы в 0,68 м³/сек.

Таким образом борьба с потерями оросительной воды при движении ее по каналам, при значительной стоимости таковой, может обходиться весьма дорого. Если орошаемое хозяйство дает значительный доход и имеются условия, благоприятствующие потерям воды, то приходится применять те или другие способы борьбы с потерями — способы уплотнения откосов и дна каналов для создания непроницаемости. Ниже мы приводим таблицу, характеризующую способы борьбы с потерями с точки зрения эффекта действия

¹⁾ С. Ю. Раунер. Указанная работа, стр. 251.

и стоимости, отнесенной к единице площади поверхности откосов и дна канала. Данные взяты у Р. Тили¹⁾ и Б. А. Ичверри.

ТАБЛИЦА 96.

Род облицовки	Сбережения воды в ‰	Стоимость облицовки в руб. на 1 кв. м
Сгущенный цемент толщин. в 7,5 см	86,6	15,64
Сгущенный известковый цемент толщиной в 7,5 см	65,5	15,64
Известково-песчаный цемент . .	63,3	6,78—6,89
Тяжелое масло (13,9 л на 1 м) .	50,4	2,50
Слой утрамбованной глины тол- щиной в 8,17 см	47,8	2,50
Густое масло ($13\frac{3}{5}$ л на 1 м ²) .	38,0	2,09
„ „ ($10\frac{1}{2}$ л на 1 м ²) .	27,3	1,61
Жидкое масло (11,3 л на 1 м ²) .	7,3	1,67

Следовательно наилучшим способом борьбы с потерями является цементная облицовка: при толщине в 3,0" она сохраняет до 87% теряемой на фильтрацию воды. Такая облицовка понижает шероховатость, позволяет применять значительно большие, чем в случае земляных каналов, скорости, следовательно позволяет придавать меньшие размеры каналам и тем самым удешевлять оросительную сеть и т. п. Но при явных преимуществах цементные облицовки имеют пределы своему применению: слабая сопротивляемость температурным колебаниям, выпучивания при наличии фильтрационных вод за облицовкой, трудность получения устойчивости облицовки, на первое время ограниченность применения лишь районами, где имеется дешевый цемент и пр. Во всяком случае, как радикальное мероприятие по борьбе с потерями, цементная облицовка будет в ближайшее время играть видную роль в оросительном строительстве.

§ 3. СБРОСНАЯ СЕТЬ И УСЛОВИЯ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ.

Проекты орошения последнего времени все большее и большее внимание уделяют вопросам рационального проектирования сбросной сети. Не мень-

¹⁾ Р. П. Тили (R. P. Teele). Обзор исследований в области орошения за 10 лет. Пер. А. Н. Костякова, стр. 28.

шее значение, чем оросительная сеть, в жизни оросительной системы, имеет сбросная сеть. Значение ее усугубляется в районах с повышенной концентрацией почвенных растворов или с близостью к поверхности земли грунтовых вод. Не преувеличивая для этих условий, можно сказать, что основной деталью рационально действующей оросительной системы является сбросная сеть. Отсутствие достаточно развитой сбросной сети в Муганской оросительной системе привело к тому, что через пять лет орошения погибло от солонцов до 35,8% всей орошаемой площади. Н. М. Тулайков говорит: „устанавливая причины роста площади засоленных земель на Мугани, Н. А. Лебедев видит их в слабом развитии оросительной и в особенности (курсив наш) сбросной сети...“¹⁾.

Таким образом, дабы оросительная система не была выведена из хозяйственного оборота, нужно сопроводить ее рационально запроектированной сбросной сетью. Основные требования, предъявляемые к рационально запроектированной сбросной сети, следующие:

1. Сбросная сеть должна обладать достаточной развитостью, сбросные каналы должны подходить к наименьшим хозяйственным или водопользовательным единицам, при чем в пределах поливных площадей также должны быть канавки, отводящие излишнюю воду.

2. Глубина сбросной сети — ее элементарных каналов, отводящих воду с хозяйственных единиц, — не должна быть меньше глубины распространения корневой системы растений, культивируемых в пределах оросительной системы, в случае близости грунтовых вод, и не менее 0,5 м в случае глубокого их залегания.

3. Расчет каналов сбросной сети ведется в двух предположениях: а) при неглубоком залегании грунтовых вод каналы должны проводить сбрасываемые с оросительной системы воды и отводить некоторое количество вод за счет внутреннего стока; б) при глубоком залегании грунтовых вод каналы сбросной сети должны быть рассчитаны на отвод только сбросных вод.

Никаких данных для выбора рациональных форм поперечного профиля сбросных каналов в литературе не имеется; обычно каналы имеют поперечный профиль, аналогичный профилям оросительных каналов, с тем лишь изменением, что откосы делаются круче, чем в оросительных каналах. При необходимости орошать земли, подверженные засолению, орошаемая площадь оборудуется густой сетью дренажных (закрытых или открытых) каналов.

Ч. Эллиот и Ньюэлль и Мерфи указывают на то, что диаметр дрен (трубчатых гончарных) изменяется в пределах от 10 см до 20 см. Что же касается расстояния между дренами, то таковое видоизменяется

¹⁾ Н. М. Тулайков. Солонцы, их улучшение и использование, стр. 183.

в пределах от 15,2 м до 30,5 м; проф. Фортъе указывает, что дренажная сеть на засоленных землях должна быть диаметром в 15—20 см, глубиной до 1,83 м, а расстояние между дренами должно быть равно 60,96—152,4 м¹⁾.

§ 4. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ И СБРОСНОЙ СЕТЯХ.

Оросительная и сбросная сети, охватывая определенные площади, проходят по различным типам рельефа. При спокойном рельефе на этих сетях могут быть лишь сооружения для регулирования горизонта воды и расхода воды в каналах. Пересеченный же рельеф или рельеф с значительными уклонами требует помимо регулирующих сооружений еще ряда сооружений, позволяющих преодолевать естественные препятствия, ставящиеся природой. Наконец, поливная сеть должна быть также оборудована некоторыми элементарными сооружениями, позволяющими регулировать ток воды по орошаемому полю. Для удобства рассмотрения всевозможных сооружений на оросительной и сбросной сетях их можно классифицировать по признаку назначения их.

Сооружения для регулирования и дозировки воды в оросительной и сбросной сетях.

Сюда нужно отнести следующие сооружения:

- 1) шлюзы-регуляторы,
- 2) подпорные шлюзы.

Сооружения для обхода и преодоления естественных препятствий и преград.

Сюда относятся сооружения:

- 1) перепады,
- 2) быстротки,
- 3) акведуки,
- 4) сифоны,
- 5) трубы,
- 6) тоннели.

Сооружения для регулирования и распределения оросительной воды по орошаемому полю.

Сюда относятся сооружения:

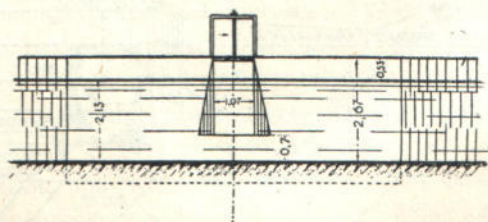
- 1) выпуски,
- 2) водомеры,
- 3) задвижки,
- 4) водосбросы.

1) А. Н. Костяков. Основные элементы расчета осушительн. систем, стр. 218.

Каждое из этих сооружений может быть выполнено из различных материалов, различных размеров и конструкций, но каждая из этих групп сооружений может быть охарактеризована основными деталями, свойственными только этой одной группе сооружений.

А. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ДОЗИРОВКИ ВОДЫ В ОРОСИТЕЛЬНОЙ И СБРОСНОЙ СЕТЯХ

1. РЕГУЛЯТОРЫ В ГОЛОВАХ ГРУППОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ. Для регулирования количеств воды, отводимых из магистрального канала в групповой распределитель, служат сооружения, аналогичные по своим основным деталям головным регуляторам оросительных систем при самотечном и подпорном орошении. В этих регуляторах так же, как и в головных регуляторах, имеется отверстие того или иного размера, перекрываемое щитовым затвором какой-либо конструкции, имеется флютбет, состоящий из 3 частей (понурной, водобойной и сливной), некоторого количества подпорных стенок и прочие детали. В отличие от головного регулятора на регуляторах более мелких не устраивается водосбросных плузов. По очертанию в плане этот тип регуляторов в большинстве случаев представляет из себя канал с каменными (или из другого материала) вертикальными стенками, отходящий от магистрального канала под прямым или под острым углом, но не менее 45° . При определенном характере трассы зачастую в одно сооружение с регулятором этого типа объединяются регуляторы более мелкие, — если вблизи группового регулятора отходит околотковый или межоколотковый (один или два) распределитель. В этом случае мы получаем узел сооружений, состоящий из ряда щитовых отверстий, соединенных в одно целое сооружение. При правильно запроектированном магистральном канале и при достаточном его уклоне, на магистральном канале вблизи группового регулятора подпорное сооружение не устраивается. Если же есть опасность, что горизонт воды в магистральном канале будет опускаться ниже порога группового регулятора, в этом случае стенки регулятора перекидываются через магистральный канал, и в одной из них устраивается подпорный щит, дающий возможность регулировать горизонт воды в магистральном канале. На нижеприводимых чертежах 51 и 52 изображаются головные регуляторы группового канала шириной в 2,90 м и 3,43 м в одно отверстие.



Черт. 51. Регулятор группового распределителя.

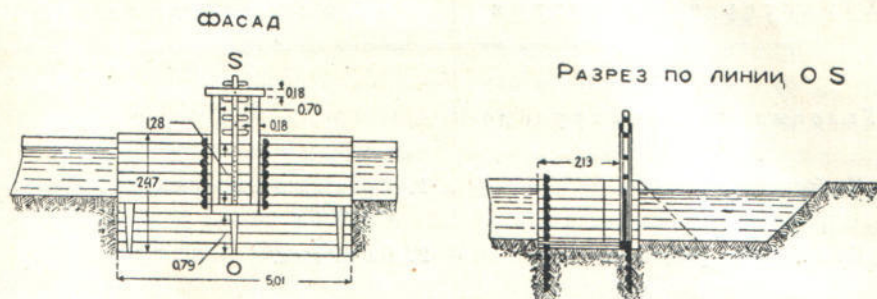
Приводимый регулятор представляет из себя каменную коробку, образованную двумя вертикальными подпорными стенками, по концам переходящими в обратные стенки. Отверстие регулятора перекрыто сводом, по которому расположен рабочий мостик, несущий на себе подъемный механизм. Понурная часть флютбета регулятора представляет из себя сходящийся канал с каменной облицовкой длиной в 8,1 м. Водобойная часть флютбета регулятора представляет из себя каменную плиту длиной в 2,50 м. Сливная часть флютбета регулятора состоит из каменной кладки длиной в 21,3 м, при чем в конце ее поставлен водослив с перепадом. Порог регулятора находится выше дна магистрального канала на 0,83 м (202,41—201,58 м), при чем уклон понура в этом регуляторе равен 0,1. Такой уклон понура и возвышение порога регулятора над дном магистрального канала приданы, с одной стороны, для командования горизонта воды в регуляторе над орошаемой площадью, а с другой — для предохранения группового распределителя от заиления. Остальные детали ясны из самих чертежей.

II. Регуляторы околотовых распределителей. При ответвлении околотовых (межokolотовых) распределителей от групповых распределителей стремятся, чтобы два (при двустороннем расположении околотов) околотовых распределителя отходили в одной точке от группового распределителя, ибо в этом случае оба регулятора околотовых распределителей возможно соединить в один узел. Такое положение представлено на черт. 53.

Регулятор состоит из трех вертикальных подпорных стенок с щитовым отверстием в каждой из них. В некотором расстоянии от щитовых отверстий околотовых распределителей вниз по каналам расположены водосливы с водомерами. Дно группового распределителя и околотовых распределителей расположено на одной отметке. Отверстия не перекрыты служебными мостиками, ибо ширина их не превосходит 1,0 м.

III. Регуляторы (щитовые затворы) в головах наделных распределителей-оросителей. Для регулирования количеств воды, подаваемых из околотовых распределителей в наделные оросители, чаще всего выполняют регуляторы самой простой конструкции и из самого дешевого материала (обычно дерева), ибо этот тип регуляторов выполняется силами и средствами водопользователей. Нет необходимости в оборудовании головных сооружений наделных распределителей водомерами, так как деление воды и учет количеств ее производится обычно в головах околотовых (или внутриоколотовых) распределителей. Поэтому регулятор упрощается и зачастую сводится лишь к перемычке из того или иного материала в голове наделного распределителя, снабженной отверстием, перекрываемым элементарным затвором. Для предохранения головы наделного распределителя от размыва и самого сооружения от подмыва фильтрационными водами вводят а) крепление водобойной части, при чем остальные две части флютбета (понур и сливная) или совсем отсутствуют или заменяются простейшим креплением, и б) шпун-

товый ряд под щитовым отверстием. Такой простейший регулятор для расхода $Q = 0,227 \text{ м}^3/\text{сек}$ изображен на чертеже 54.



Черт. 54. Регулятор в голове надельного распределителя.

Б. Сооружения для обхода и преодоления оросительной и сбросной сетями естественных препятствий и преград.

Вторая группа сооружений выполняется, главным образом, для обхода и преодоления естественных препятствий и преград. Зачастую в орошаемой площади встречаются следующие препятствия:

1. Тальвеги (естественные водотоки, места прохождения паводковых вод) небольшой глубины.
2. Тальвеги более глубокие (овраги, каналы сбросной сети и пр.).
3. Ручьи, реки, болота и пр.
4. Насыпи.
5. Крутые холмы, горы.
6. Уклоны местности круче допустимых.

В зависимости от характера препятствия устанавливается и тип сооружения (см. табл. 97 на стр. 248).

Таким образом на каналах оросительной и сбросной сетей для обхода естественных препятствий и преград могут быть выполнены следующие сооружения:

- 1) перепady.
- 2) быстротоки,
- 3) акведуки,
- 4) сифоны,
- 5) трубы,
- 6) тоннели.

Классификация нами намеченная является условной, ибо в естественных условиях, а также в условиях определенной экономики возможно комбинировать эти сооружения различным образом. Мы ограничимся описанием пяти первых сооружений оросительных и сбросных сетей. На тоннеле, являющемся в существе одним из видов выемок, мы останавливаться не будем.

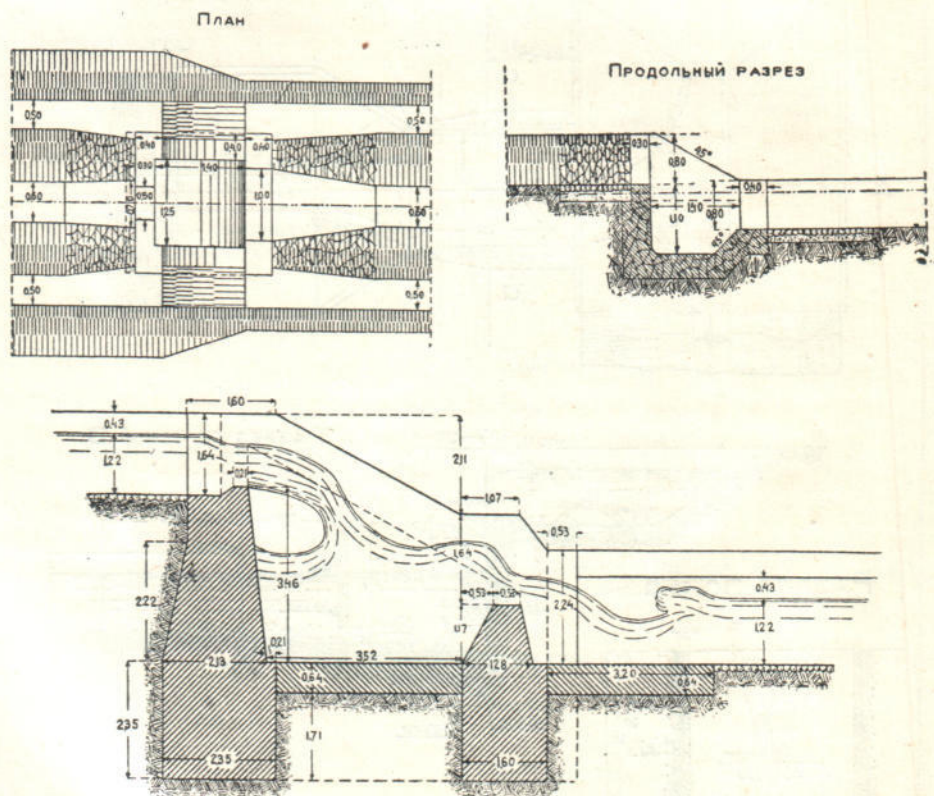
ТАБЛИЦА 97.

Характер препятствия	Тип сооружения
I. Уклоны местности круче допускаемых:	
1) На большом расстоянии.	1. Перепады одноступенчатые и многоступенчатые.
2) На небольшом расстоянии.	2. Быстротоки.
II. Тальвеги небольшой глубины:	
1) Если они сухие.	1. Насыпи.
2) Если в них есть периодический ток воды.	2. Насыпь с трубой.
3) Если в них есть постоянный ток воды при нешироком тальвеге.	3. Сифон.
4) Если в них есть постоянный ток воды при широком тальвеге.	4. Акведук.
III. Тальвеги более глубокие:	
1) Широкие.	1. Акведук.
2) Неширокие.	2. Сифон.
3) Неширокие, но очень глубокие.	3. Акведук.
IV. Естественные водоемы:	
1) Реки, ручьи.	1. В зависимости от размеров и относительного положения — акведук, сифон, труба.
2) Болота, озера.	2. Акведуки.
V. Насыпи:	
1) Выше канала.	1. Труба, сифон.
2) Ниже канала.	2. Акведук, насыпь.
3) В уровень с каналом.	3. Сифон, насыпь.
VI. Крупные холмы, горы:	
1) Небольшие.	1. Выемки, трубы.
2) Значительные.	2. Тоннели.

перепад с высотой выше 4,0—5,0 м, то таковой делают или многоступенчатым или же на некотором расстоянии друг от друга делают несколько одноступенчатых перепадов.

При разности отметок верхнего и нижнего бьефов в 4,0—5,0 м возможно устраивать одноступенчатый перепад. При этом, при принятии для стенки и остальных частей перепада прочных размеров, конструкция получается негромоздкой и экономичной. Упрощается и способ сооружения перепада. На черт. 55 и 56 изображены три типа одноступенчатых перепадов $H=3,2$ м, $H=3,4$ м и $H=1,15$ м.

II. Быстротоки. В том случае, когда крутизна уклона распространяется на небольшое расстояние, когда невыгодно выполнять высокий перепад, применяют сооружения, носящие название быстротоков. Основной смысл

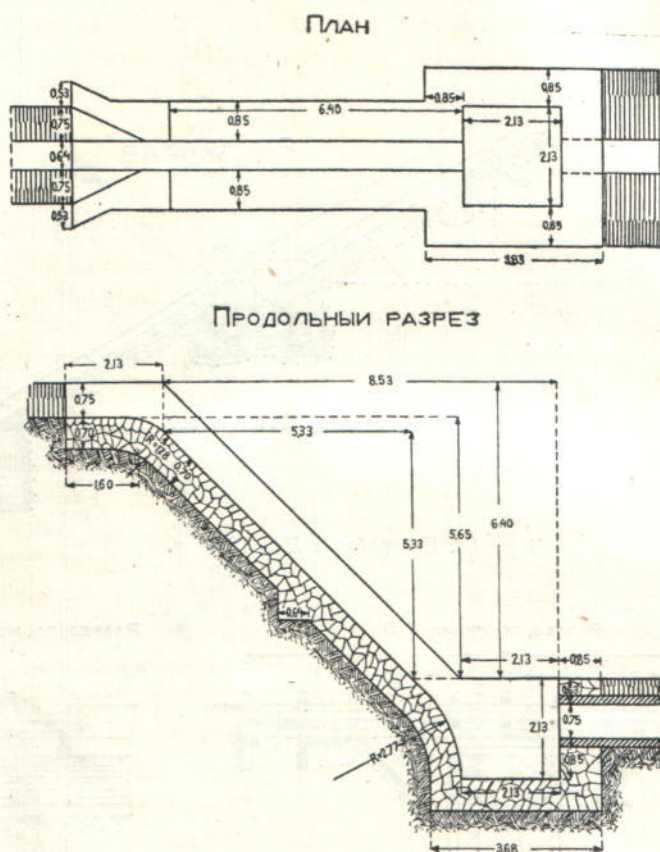


Черт. 55 и 56 (продолжение).

этого сооружения — перевод определенных количеств воды с одной плоскости в другую (нижележащую) по наклонному желобу. В этом желобе обычно развиваются значительные скорости, поэтому иногда быстроток разделяется по длине водобойным ящиком с особыми приспособлениями для успокоения струи. Всякий быстроток в нижнем бьефе сопровождается водобойным ящи-

ком. Желоб опирается на грунт, при чем на определенных расстояниях он основывается на фундаментах. Длина быстротоков обычно делается не больше 40,0—50,0 м. При большей длине быстротоков стоимость их слишком велика, и в этом случае лучше заменить одним или несколькими перепадами.

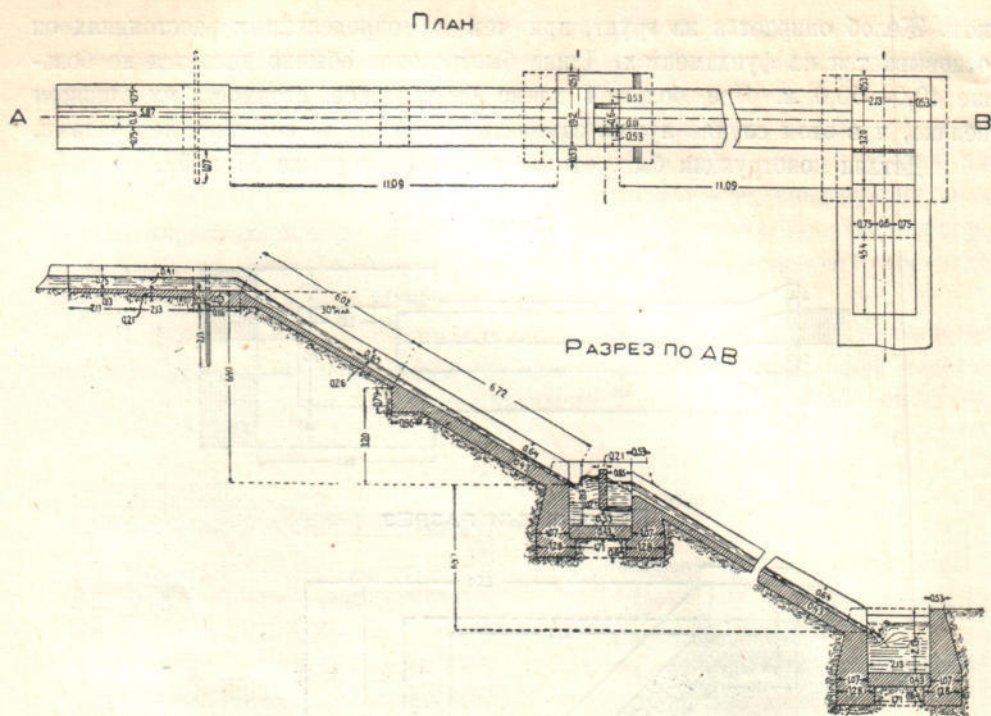
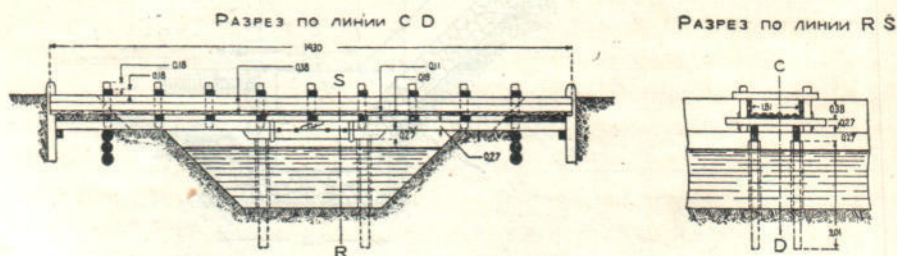
Детали конструкции быстротоков видны на чертеже 57 и 58.



Черт. 57. Быстротоки с $H = 7,63$ м.

III. Акведуки. Акведук есть мост, по которому проводится то или иное количество воды через тальвег, или через естественный водоем, или через канал. Поэтому конструкция его опор и устоев аналогична таковой же для мостов. Проезжая часть и парапеты такого моста делаются водонепроницаемыми и служат желобом для проведения воды.

Простейший тип акведука из дерева представлен на чертеже 59. Более сложный акведук изображен на черт. 60 (стр. 253). Надо отметить, что наиболее опасным местом акведука, в смысле фильтрации и дальнейшего разрушения, является место сопряжения концов акведука с грунтом. Поэтому на крепление этих мест обращают особое внимание.

Черт. 58. Быстроток с $H = 12,78$ м.

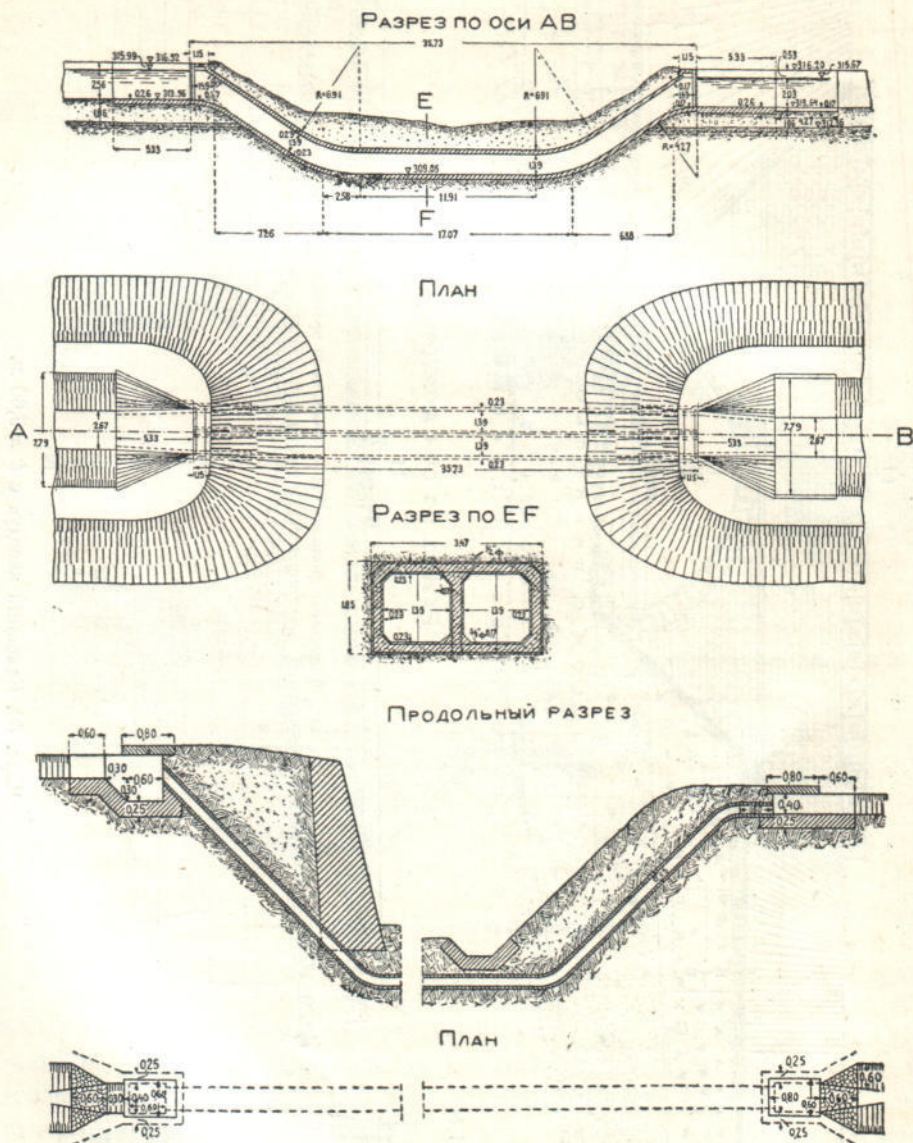
Черт. 59. Деревянный акведук.

IV. Сифоны. Для пропуска ливневых вод, идущих по неширокому тальвегу, пересекающему оросительный канал на уровне горизонта воды в канале, для пересечения каналом неширокого, но глубокого тальвега, для пересечения оросительным каналом насыпи с отметкой, равной или несколько меньше отметки горизонта воды в канале, применяются сооружения, носящие наименование сифона (дюкера).

В силу разности отметок горизонта воды в верхнем и нижнем колодцах сифона, вода движется по сифону.

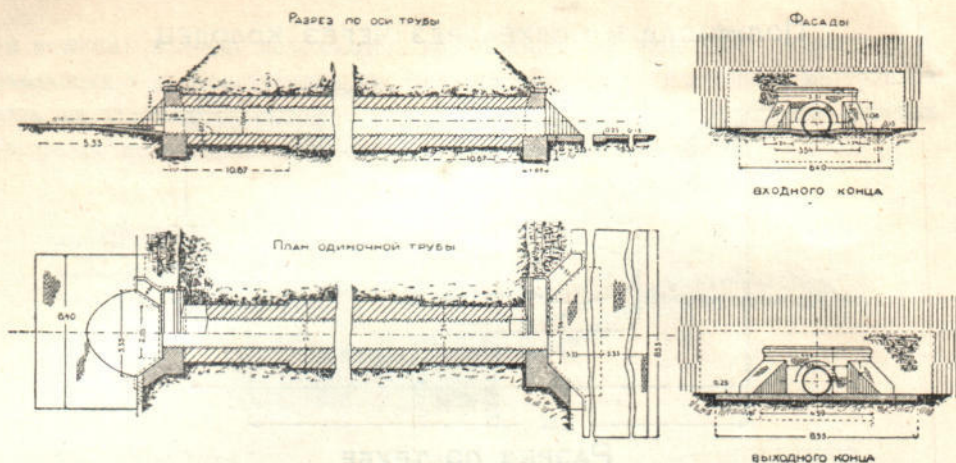
Составными частями сифона являются верхний и нижний колодцы, труба и верхний и нижний бьефы канала. Сифоны в верхнем (а зачастую

и в нижнем) колодце снабжаются решетками для уловления всякого рода плавающих тел. Конструкция простейших сифонов из различных материалов видна на чертеже 61. Вода движется по сифону в силу разности отметок горизонтов ее в верхнем и нижнем колодцах.



Черт. 61. Конструкции сифонов.

V. Трубы. Для проведения под каналом небольших ручьев, для проведения канала через насыпь, если таковая расположена выше канала, и для пересечения каналом невысоких холмов применяются сооружения, называе-

Черт. 62. Труба из волнистого железа $d = 1$ м.

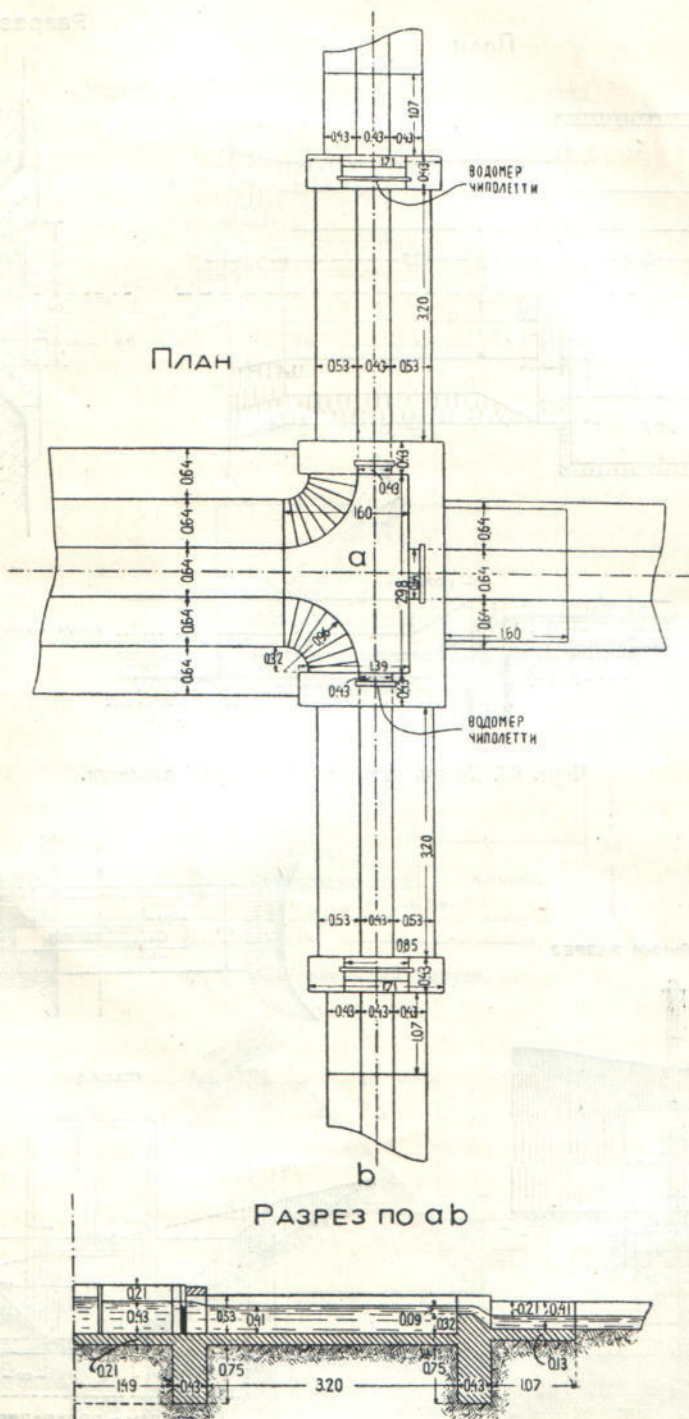
В. Сооружения для регулирования и распределения воды по орошаемому полю.

Следующая группа сооружений касается той части оросительной системы, которая обслуживает поливные площадки или хозяйственную величину—надел. Все эти сооружения могут быть разбиты, как уже было указано выше, на выпуски, водомеры, задвижки, щиты, водосбросы.

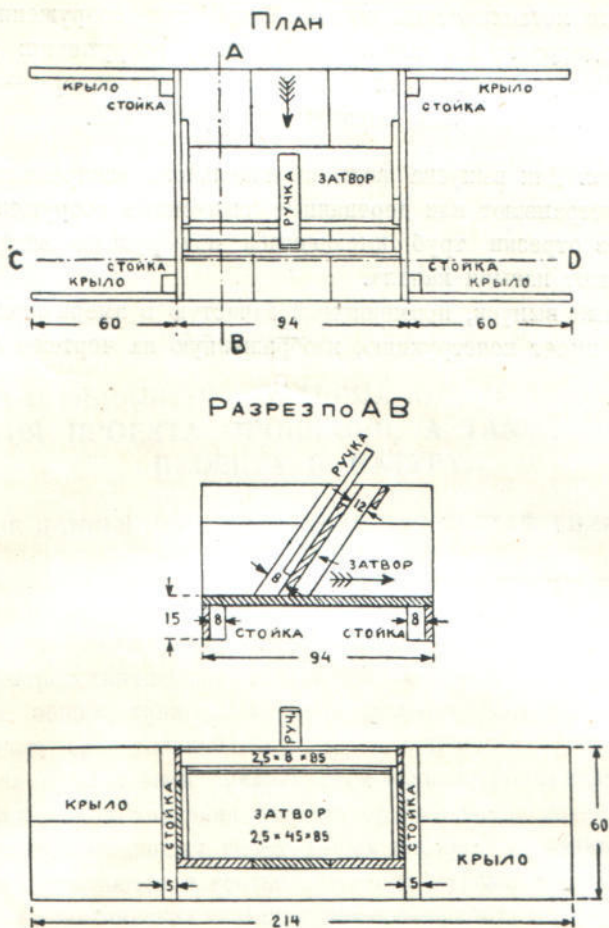
В большинстве случаев эти сооружения выполняются самими водопользователями, поэтому должны быть конструктивно просты и дешевы. Но в крупных системах можно применять конструкции этих сооружений более сложные, особенно для тех из них, которые находятся на наделном распределителе и служат для целей измерения воды. Приведем некоторые конструкции этих сооружений.

І. Водомер на наделном распределителе. Головной регулятор наделного распределителя в конце водобойной его части обычно снабжается водомером того или иного типа. Отсылая интересующихся водомерами к соответствующим работам (например, к отчету проф. Е. Е. Скорнякова о поездке его в С.-А. С. Шт.), мы в настоящей работе приведем общее расположение головного регулятора наделного распределителя и водомера Чиолетти (черт. 63), считая этот тип водомеров наиболее простым и дающим при условии правильной его установки (отношении ширины канала к ширине водослива не менее 3, высоте перепада не менее 0,20 м и достаточной аэрации переливающейся струи) наилучшие результаты. Конструкция такой водомерной установки ясна из чертежа 64.

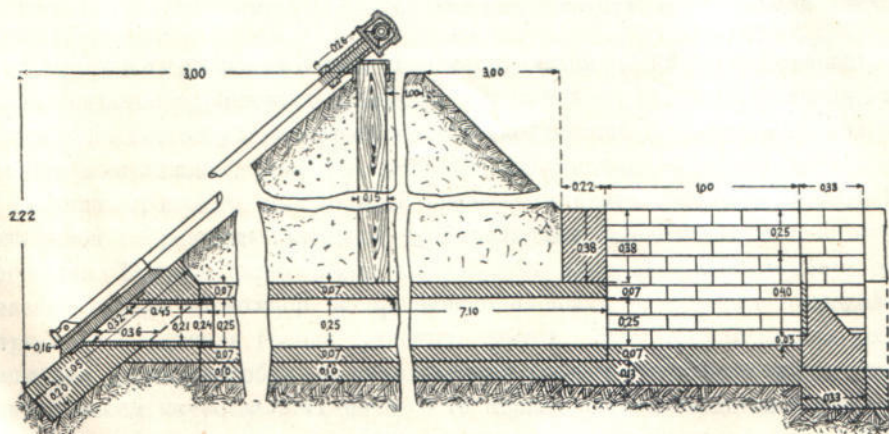
ІІ. Задвижка, подпорный щит. При ответвлении от наделного распределителя дополнительных внутринаделных каналов применяют вместо регуляторов задвижки или щиты (черт. 68), представляющие из себя вертикальную стенку, заложенную поперек канала, с отверстием, перекрываемым простым



Черт. 63. Головной регулятор надельного распределителя с водомером Чиполетти.



Черт. 66. Деревянный выпуск.

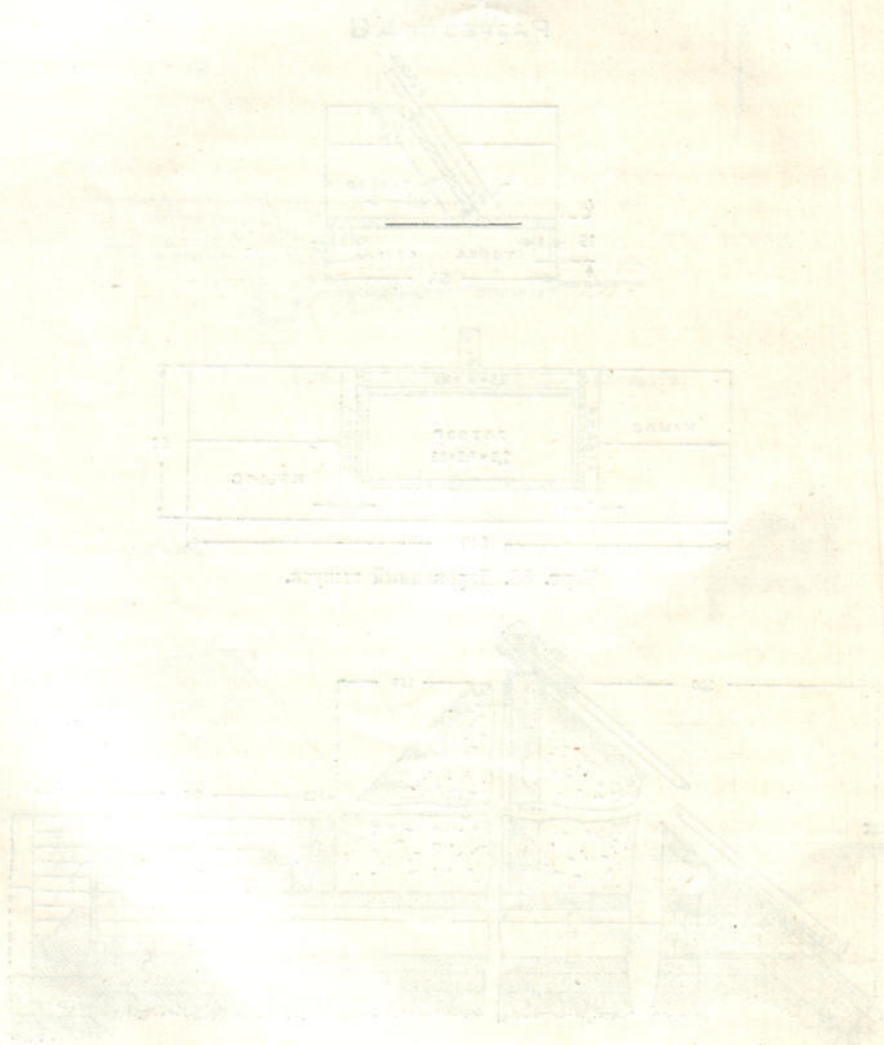


Черт. 67. Выпуск — труба с задвижкой и водомером.

деревянным или металлическим щитом. Такой тип сооружения применяется еще в виде подпорного на канале (небольшом) сооружения: им достигается регулирование воды в канале для создания желаемого напора, — командования горизонта воды в канале над площадью им орошаемой.

III. выпуск. Для выпуска воды из надельного распределителя в поливные канавки устраивают или деревянные выпускные сооружения, или выводят воду через отрезки труб имеющегося под руками материала, или же просто разрывают насыпи канала.

Деревянный выпуск, применяемый зачастую в американской оросительной практике, имеет конструкцию, изображенную на чертеже 66.



ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

СОБИРАНИЕ И ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА ОРОШЕНИЯ, А ТАКЖЕ ПЕРЕНЕСЕНИЕ ПРОЕКТА В НАТУРУ.

§ 1. ОБЩИЕ ДАННЫЕ ОБ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА ОРОШЕНИЯ.

В предыдущем изложении мы касались двух основных вопросов — основ расчета отдельных элементов оросительной системы и основ выбора и проверки типов гидротехнических сооружений. В настоящей главе мы остановимся на тех общих данных, которые должны быть положены в основу каждого проекта оросительной системы, на приемах получения их и на форме, которая должна быть придана этим данным, чтобы возможно было ими воспользоваться для составления проекта оросительной системы. Имея в виду, что методы собирания данных, необходимых для проектирования оросительных систем, обычно излагаются в соответствующих курсах, мы в настоящей главе дадим лишь ряд практических указаний, как вести работу по собиранию данных.

А. Что необходимо иметь для составления проекта оросительной системы.

а. Топографические данные. Имея в виду использовать для целей создания орошаемого хозяйства тот или иной источник орошения, зная его оросительную способность (количество гектаров, могущих быть орошаемыми каждой единицей расхода его) и запасы воды, выраженные в единицах расхода, мы должны решить основную задачу — определения возможной к орошению площади при наличных запасах воды в источнике орошения. Таковое определение складывается из двух моментов: момента определения границ возможной к орошению площади и момента определения внутри этой площади границ удобных земель. Если вторая задача должна решаться двумя способами — определением границ отдельных типов почв и определением качества этих почв, — то первая задача сводится к установлению границ площади, подлежащей орошению из источника орошения. Ввиду того, что точно установить границы площади, которая может быть орошена

из данного источника орошения, сразу нельзя, то устанавливают обычными приемами геодезии площадь командования данного источника орошения — площадь, находящуюся ниже источника орошения. Имея данные о водных запасах источника орошения, определяют ту площадь, которая может быть орошена за счет этих запасов при известной величине гидромодуля. Получают орошаемую площадь. Имея данные о количестве и расположении земель, кои по тем или иным причинам не могут быть орошены, выделяют их из площади командования и в результате получают границы удобной орошаемой площади. В этих границах, зная рельеф орошаемой площади, намечают трассу оросительной и сбросной сетей. По запроектированной трассе устанавливают количество площади, отходящей под каналы, сооружения дороги, населенные пункты и пр. неорошаемые угодья, и путем вычитания этой площади из орошаемой площади получают размер поливной площади, — площади занятой поливными обработанными землями.

Таким образом топографические данные должны заключаться в точном положении источника орошения и площади его командования на части земельной поверхности, в определении границ площади командования и орошаемой площади. Эти данные получаются одним из принятых геодезических приемов.

Второй задачей получения топографических данных является установление рельефа площади командования. В силу того, что, как мы об этом упоминали выше, по площади командования могут стекать поверхностные воды, собираясь в понижениях рельефа или проходя по естественным тальвегам, и имея в виду, что наличие таких тальвегов вызывает необходимость в снабжении оросительной и сбросной сетей дополнительными гидротехническими сооружениями, необходимо установление границ и рельефа этих понижений рельефа и тальвегов. Все это выполняется с применением известных геодезических приемов — нивелирования.

Дабы площадь командования в целом и ее отдельные части были связаны с какими-либо постоянными (как на поверхности земного шара, так и по отношению к постоянной плоскости — к уровню моря), абсолютными точками, необходимо на этой площади иметь некоторое количество точек, связанных с постоянными точками земного шара — астрономическими пунктами и абсолютными реперами. Эти точки — их положение в двух плоскостях — определяются приемами геодезии. Определяя границы площади командования источника орошения, необходимо установить на ней местонахождение следующих предметов и явлений:

- 1) выходов грунтовых вод,
- 2) населенных пунктов,
- 3) существующих оросительных и сбросных сетей с сооружениями на них,
- 4) существующей дорожной сети с сооружениями на ней,
- 5) мест возможного получения строительных материалов,

- 6) естественных и искусственных водоемов,
 - 7) границ затопления земель при подъеме горизонта воды в естественных водоемах,
 - 8) границы затопления сбросными водами с существующих оросительных систем
- и ряд других данных, кои определяются в процессе работы.

Все эти данные известными приемами обработки геодезических измерений сводятся в рельефный план площади командования, в план в горизонталях, каковой и служит уже материалом для нанесения на нем результатов дальнейших исследований и для проектирования трасс оросительной и сбросной сетей.

б. Гидрологические данные. Имея точные данные о площади командования данного источника орошения, необходимо для проектирования установить его режим, его ресурсы и качество его вод. Зачастую эта задача осложняется необходимостью отыскания в пределах площади командования дополнительных источников орошения. Поэтому получение гидрологических данных подразделяется на две задачи:

- 1) изучение режима, запасов и качества вод источника орошения,
- 2) установление на территории площади командования дополнительных источников орошения (использование с помощью водохранилищ водостока, использование грунтовых вод с помощью их каптирования).

Первая задача может быть решена путем обработки многолетних (лучше всего — не менее 10 лет, можно ограничиться при отсутствии более подробных данных 3—5 годами, а при орошении пустынных земель зачастую приходится довольствоваться годовыми наблюдениями) наблюдений за режимом и качеством вод на гидрометрических станциях. Необходимо собрать дополнительно по возможности полные данные о движении по источнику орошения взвешенных и растворенных наносов, их качестве и количестве.

К гидрологическим данным необходимо отнести изучение грунтовых вод, залегающих в районе площади командования. Эти данные в районах применения орошения особенно интересны в связи с тем, что здесь обычно грунтовые воды имеют значительную концентрацию, поэтому при определенном их положении и режиме таковые могут вызвать заболачивание и засоление удобных земель площади командования. В данном случае изучаются воды, залегающие под дневной поверхностью и выходящие на таковую.

в. Геологические данные. Устройство головных сооружений (в том числе водохранилищ и водоподъемных установок) головных участков магистральных каналов, крупных водосбросных плузов и головных регуляторов крупных каналов и вообще крупных сооружений на оросительной и сбросных сетях требует знания тех пород, которые подстилают почвенный покров площади командования. Знание геологической обстановки позволит сделать вывод о наличии или отсутствии необходимых для выполнения сооружений строительных материалов. Геология площади командования позво-

лит решить вопрос о генезисе почв, о причинах, вызывающих то или иное залегание грунтовых вод. В силу этих обстоятельств при значительной орошаемой площади геологические исследования ведутся на всей площади командования, с детализацией в месте расположения сооружений; при незначительной площади орошения геологические исследования или не ведутся совсем, или их ограничивают разведкой материка (прочного водонепроницаемого грунта) под основание наиболее крупных сооружений.

г. Почвенно-ботанические данные. При организации орошаемого хозяйства является необходимость в установлении характера и распространения различных типов почв в орошаемой площади. Севооборот орошаемого хозяйства зависит в большой степени от типа почв, находящихся в пределах орошаемой площади; характер почв и грунтов влияет на выбор типа того или иного сооружения (например засоленные почвы требуют большого развития сбросной сети, заложения закрытого дренажа; рыхлые водопроницаемые почвы требуют в некоторых случаях бетонирования каналов и т. п.).

Характер почв доминирует в выборе норм водопользования в орошаемом хозяйстве; во всех отдельных элементах оросительной системы влияние почвы велико. В силу этих обстоятельств изучение почвенной карты, качества и распространенности почв, имеющихся в пределах орошаемой площади, является одной из важных задач по собиранию данных, необходимых для проектирования оросительных систем. При изучении почв орошаемой площади, помимо полевой их оценки на основании внешних признаков и несомогими растительного покрова, необходимо производство различных лабораторных действий над почвами — необходимо изучить механический состав почв, их химические свойства, структуру и водные свойства почв, — дабы иметь все данные о характере и распространении отдельных типов почв.

Все вышеуказанные данные собираются по преимуществу в поле и для каждого данного случая в отдельности. Помимо этого способа можно рекомендовать выборку необходимых данных из ранее производившихся исследований.

Что касается данных, излагаемых ниже, то, ввиду их постоянства и одинаковости для значительных районов (в отличие от вышеуказанных, являющихся постоянными лишь для малых площадей), получение их возможно основывать на обработке и сводке имеющихся данных по соседним близлежащим районам. Только в том случае, когда мы имеем дело с незаселенными местами, мы должны некоторые из этих данных (например климатические) получать непосредственными наблюдениями.

Во всяком случае и для этих данных мы можем наметить те вопросы, которые понадобятся для составления проекта оросительной системы.

д. Гидромодульные данные. Из понятий о гидромодуле, технике и порядке водопользования ясны и те данные, которые должны быть положены в основу проекта оросительной системы. Наметим в общих чертах, чем мы должны задаться на основании исследований по этому вопросу в соседних районах.

1. Нормы. — На основании или опытных данных или изучения существующих форм орошаемого хозяйства подбираем для данных естественно-исторических условий поливные нормы, сроки и число поливов для всех культур, вводимых в орошаемое хозяйство.

2. Техника полива. — Для данных почвенных условий задаемся способом полива, размером поливной площадки и размером поливной струи (поливного расхода).

3. Порядок водопользования. — В зависимости от водообеспеченности орошаемой площади устанавливаем тип водооборота.

На основании этих данных ведут построение графика гидромодуля.

е. Сельскохозяйственные данные. В сельскохозяйственные данные, служащие для проектирования оросительных систем, входят следующие данные:

1. Применительно к почвенным условиям, к степени водообеспеченности района орошения и к экономической конъюнктуре намечают севооборот.

2. Для каждой культуры устанавливают фазы развития.

3. Все это комплектуется на основе экономической обстановки в определенный тип хозяйства.

Эти три данные вполне исчерпывают необходимое в области охвата сельскохозяйственных данных.

ж. Экономические данные. Основой всякого проекта оросительной системы является рентабельность, та чистая доходность, которая получается в результате капитальных затрат на мелиорацию недостаточно-увлажненных земель. Поэтому для каждого такого проекта необходимо иметь ряд экономических данных, получаемых обычно из исследований в соседних, близких районах. К числу этих данных нужно отнести следующие:

1. Рентабельность запроектированного орошаемого хозяйства.

2. Рынки сбыта продукции орошаемого хозяйства.

3. Организация орошаемого хозяйства.

4. Стоимость отдельных составных частей орошаемого хозяйства, а также эксплуатационных расходов.

5. Бюджет хозяйства, аналогичного запроектированному хозяйству.

Кроме того необходимо принять во внимание ряд других данных, более или менее важных, но получение коих создает полную картину экономики орошаемого хозяйства при принятых в проекте нормах.

з. Климатические данные. Потребление воды в орошаемом хозяйстве зависит в большой степени от климата района орошения. Температура, величина испарения, солнечная инсоляция, влажность воздуха, сила и направление ветров, — все эти факторы определяют степень влажности почвы орошаемой площади, каковой определяется допускаемый с точки зрения увядания растения предел влажности почвы и срок дачи полива. Поэтому в цикле данных, потребных для проектирования оросительных систем, не последнее место занимают климатические данные, получаемые обычно из обработки и

систематизации наблюдений по смежным с орошаемой площадью районами, или же, за отсутствием таковых, получаемые путем непосредственных наблюдений.

Изложенным определяется объем данных, необходимых для проектирования оросительных систем.

Б. Как получить необходимые для проектирования оросительных систем данные.

Способы получения необходимых для проектирования оросительных систем данных различны для разных групп.

Большинство их добывается путем полевых изысканий и исследований. Группа гидроמודульных и сельскохозяйственных данных для проектирования рациональных оросительных систем получается из опытов в соответствующей обстановке. Экономические и климатические данные обычно получаются путем обработки имеющихся массовых материалов. Наконец, данные по топографии, гидрологии, геологии и почвенно-ботанические получаются путем производства измерений и наблюдений в применении к данной территории. Оставляя незатронутыми способы получения данных по первым двум группам, охарактеризуем в общих чертах способы получения данных третьей группы — полевые изыскания и исследования.

1. Топография орошаемой площади.

Основной задачей этой отрасли изысканий является определение границ орошаемой площади и ее рельефа. Не касаясь приемов изысканий топографического характера, наметим, что нужно сделать, чтобы получить исчерпывающие данные в этой области.

Прежде всего необходимо рекогносцировочно установить пределы и характер площади командования данного источника орошения. Это даст нам возможность установить масштаб предполагаемой работы, выбрать место для закладки постоянных точек (триангуляционных пунктов и реперов) на площади командования. Установив триангуляционные пункты и репера известными из геодезии приемами, снимают ситуацию внутри тригонометрической сети, разбитой по всей площади командования. Если работа выполняется тахометром, то на-ряду с внутренней ситуацией определяют и рельеф местности.

Чаще же по выполнении съемки местности намечают на ней (провешивают) ряд ходов или замкнутых полигонов, по которым проходят с одним или двумя нивелирами (в зависимости от необходимости в большей или меньшей точности) и определяют отметки точек перегиба рельефа. Попутно и при съемке ситуации и при нивелировке определяют положение предметов и явлений, указанных на стр. 262 настоящей работы. При наличии водоемов и при пересечении таковых нивелирными ходами ведут измерение глубин

водоемов по ходовым линиям, специально для сего намеченным. Если на площади командования имеются тальвеги, то к основным нивелирным ходам добавляют еще ходовые линии по тальвегам. Основные ходовые линии закрепляют в натуре (на местности) реперами, служащими для привязки других изысканий и исследований. Получив результаты измерений, обрабатывают их известными из геодезии приемами таким образом, чтобы в результате получен был план в горизонталях (рельефный план) площади командования со всеми подробностями, при чем горизонтالي проводятся на расстоянии 0,20—0,40—1,00 м друг от друга. Нужно признать необходимость в дополнительных нивелирных ходах по крупным каналам существующих оросительной и сбросной сетей. В результате топографических изысканий мы будем иметь материал для трассировки оросительной, сбросной и дорожной сетей, для привязки к постоянным точкам геологических и почвенно-ботанических исследований.

2. Гидрология.

Производство этого рода изысканий подразделяется на четыре момента:

1. Определение режима и качества источника орошения.
2. Определение запасов и качества вод замкнутых водоемов, расположенных на площади командования.
3. Определения дебита и качества грунтовых вод на площади командования.
4. Определение количества стекающих по тальвегам вод.

а. Определение режима и качества вод источника орошения — реки. Разберем случай источника орошения — реки. Получение данных о режиме и качестве вод реки сводится (в том случае, когда предварительных наблюдений не имеется) к установке гидрометрической станции и к систематическим наблюдениям на ней над колебаниями горизонта и колебаниями расхода реки. Помимо этих наблюдений, одновременно с измерениями расхода, берут пробы воды для определения в ней содержания наносов и качеств ее. В течение года на участке реки, где расположена гидрометрическая станция, ведут измерения уклона реки в целях установления коэффициента шероховатости. Наблюдения за горизонтом воды производятся ежедневно (раз в день), при чем при проходе весеннего паводка такие наблюдения учащаются и производятся не реже, чем 3 раза в день (соответственно срочным метеорологическим наблюдениям). Наблюдения за колебаниями расхода реки производятся не менее 2 раз в месяц (лучше 3 раза) для месяцев с меженными водами, через неделю в моменты подъема и спада вод и ежедневно — в период паводков. В случае наличия большого количества наблюдений за колебаниями горизонта и малого числа определений расхода значения промежуточных расходов определяются по кривой расхода, строящейся обычными в гидрометрии приемами.

б. Определение запасов воды в замкнутых водоемах. В том случае, когда на площади командования имеются замкнутые водоемы (озеро, пруд, болото и пр.), необходимо определить в них запас воды и ее качество в целях или просто их фиксирования или в целях использования их для каких-либо хозяйственных надобностей. Эти определения следует повторять несколько раз в течение года в периоды изменения режима стока. Определение запасов воды в замкнутых водоемах сводится к первоначальным подробным измерениям глубин и водного зеркала водоема, к установке водомерного поста и наблюдению на нем колебания горизонта воды. По показаниям водомерной рейки строят две кривых:

- 1) кривую зеркал водоема,
- 2) кривую объемов водоема.

Нуль водомерной рейки занивелировывается, при чем нивелировка повторяется 2 раза в год в целях определения изменения дна водоема в месте расположения рейки. Для того чтобы следить за изменением дна водоемов, измерение глубин его в определенных створах (по определенным линиям) повторяют одновременно с нивелировкой нуля рейки два раза в год. При этих измерениях концы створов закрепляют реперами. Все эти мероприятия относятся к водоемам значительным, кои нельзя уничтожить теми или иными гидротехническими способами, и в том случае, если таковые не необходимы для орошаемых хозяйств площади командования. Малые водоемы (особенно заболоченные) уничтожаются, и измерение их производится всего лишь один раз — во время съемки площади командования — для установления типа и размера тех сооружений, с помощью которых возможно их уничтожить.

Если водоемы предполагается использовать для надобностей орошаемого хозяйства, то производят определение качества воды в них, при чем это определение повторяют не менее 2 раз в год — перед вегетационным периодом и по окончании его. Таким образом оказывается возможным следить за изменением химического состава вод, происходящего в силу высокой температуры и испарения.

в. Определение дебита и качества грунтовых вод. Для установления положения уровня грунтовых вод по отношению к земной поверхности, для установления пределов колебания этого уровня в зависимости от тех или иных факторов, для установления их дебита в том случае, когда эти воды возможно использовать для тех или иных надобностей, для установления химического состава вод и колебания его в зависимости от тех или иных факторов, производят наблюдения с помощью или устройства скважин по всей или части площади командования или устройства водомеров на выходах грунтовых вод на дневную поверхность. Скважины по площади командования обычно распределяются или равномерно (если рельеф спокойный) или в определенной зависимости от рельефа местности. Из результатов бурения устанавливают в каждой скважине положение установившегося уровня и по этим данным определяют положение поверхности грунтовых вод

на площади командования. Для наблюдения за режимом грунтовых вод, для взятия проб этих вод в целях определения химического состава их, для определения дебита их выбирают несколько наиболее характерных скважин и на них производят все вышеуказанные наблюдения. Наблюдения за уровнем грунтовых вод ведутся раз в день, дебит определяется не менее трех раз в год, определение химического состава грунтовых вод производится раз в месяц.

г. Определение стекающих по тальвегам вод. Естественные водотоки — тальвеги, по которым во время паводков проходят воды стока, своим присутствием на площади командования заставляют снабжать оросительную систему дополнительными сооружениями для перехода каналами тальвегов. Для расчета этих сооружений необходимо иметь данные о величине и изменении во времени стока. Вследствие этого при производстве топографической съемки или же специальными изысканиями устанавливают границы, растительный покров и рельеф водосборной площади тальвега. Получив эти данные, определяют по одной из применяющихся в практике формул величину стока, выраженную в единицах расхода с единицы водосборной площади.

3. Геология.

Геологическими исследованиями разрешаются следующие задачи:

1. Определяется характер напластований на площади командования.
2. Определяется залегание материка под фундаментами и основанием гидротехнических сооружений оросительной системы.
3. Устанавливается наличие и местонахождение строительных материалов.
4. Получаются данные, позволяющие решить задачи о происхождении почв площади командования.
5. Получаются данные о характере залегания и запасах грунтовых вод.

Геологические исследования производятся путем изучения обнажений напластований, путем устройства скважин и шурфов и построения геологических профилей путем использования для этой цели искусственных обнажений, получающихся вследствие глубоких выемок. Успех дела зависит главным образом от точности записи наблюдений за чередованием пород. Правильно сделанные полевые записи гарантируют и правильные выводы о геологическом строении площади командования. Разведка строительного материала (ввиду использования для этой цели лишь тех напластований, которые близки к дневной поверхности) производится по преимуществу шурфованием или скважинами небольшой глубины. При малых площадях командования геологические исследования выполняются только путем изучения естественных и искусственных обнажений. Определение запасов грунтовых вод может быть выполнено лишь в том случае, если экономически возможно провести на площади командования не менее 3 глубоких буровых скважин.

4. Почвенно-ботанические исследования.

В цикле данных, необходимых для проектирования оросительных систем, одно из первых мест занимают данные, характеризующие типы, генезис и морфологию почв. Особенное значение для проектирования представляют физические свойства почв, в частности водные свойства почв. Мы должны вспомнить, что размеры каналов, густота сети, техника полива, полезное действие системы, — все эти элементы орошения зависят в большей степени от почвенных условий. Поэтому изучение почв площади командования составляет одну из важнейших задач изысканий.

Почвенные исследования заключаются в определении по объективным признакам, а также по характеру растительных сообществ, типов почв. Это выполняется путем прохождения исследователя по ходовым линиям, привязанным к постоянным точкам триангуляции или реперам нивелировочных ходов. Если почвенные исследования ведутся тогда, когда уже имеется рельефный план площади командования, то границы отдельных типов почв наносятся в масштабе плана на него. Если почвенно-ботанические исследования выполняются перед составлением рельефного плана (что чаще всего встречается для новых орошаемых районов), то в этом случае пользуются картами того или иного масштаба, на которые и наносят маршрутные ходы, при чем эти ходы определяются в натуре некоторыми постоянными точками, устанавливаемыми на рельефном плане при топографических изысканиях. Для каждого типа почв, в зависимости от рельефа и характера почвообразовательных и геологических процессов, для каждой их комбинации берутся образцы различных почвенных горизонтов, а в некоторых наиболее ответственных пунктах производится взятие образцов почв с сохранением естественной структуры и чередования горизонтов — монолитов. При почвенных обследованиях особенное внимание в районах орошения уделяют солонцам и иным разностям почв с высокой концентрацией почвенных растворов. Все образцы (в том числе и монолиты) подвергаются послойно анализу химическому, изучению механического состава и физических свойств как отдельных типов почв, так и отдельных почвенных горизонтов. Попутно с взятием почвенных образцов собирается для каждого типа почв гербарий растительных сообществ, каковой подвергается ботаническому анализу.

В результате почвенно-ботанических исследований должна получиться почвенная карта. Что касается остальных данных, то таковые обычно получают из изучения и выводов из материалов, касающихся смежных с площадями командования районов.

В. В каком виде должны быть изыскательские данные и какие документы должны составлять проект оросительной системы.

Для составления проекта оросительных систем необходимо пользоваться результатами изысканий и сводкой и систематизацией имеющихся материалов по данным климатологическим, сельскохозяйственным, экономическим и гидромодульным. Перечень материалов, получающихся в результате изысканий и необходимых для проектирования оросительных систем, приводится в таблице 98 (см. приложение № 1).

Перечень носит характер первого приближения и может быть или увеличен или уменьшен в зависимости от местных условий. В нем намечены те основные технические документы, которые необходимы для выполнения проекта оросительных систем. В перечень не вошли те технические документы, которые являются основными для проекта орошения и которые составляются на основании технических документов, перечисленных в перечне. К таким документам нужно отнести:

1. Чертежи всех крупных гидротехнических сооружений на оросительной и сбросной сетях.
2. Чертежи, относящиеся к дорожной сети и к гражданским сооружениям на системе.
3. Объяснительные записки по расчету профилей каналов, расчету гидротехнических и иных сооружений.
4. Выводы относительно рентабельности запроектированной оросительной системы, относительно организации работ и финансирования их по плану колонизации и эксплуатации запроектированной оросительной системы.

Эти материалы являются результирующими для всего проекта и прямой связи с перечнем не имеют. В настоящем параграфе мы не касались совершенно методики выполнения изысканий и обработки всех необходимых для проектирования оросительных систем материалов, ибо таковая излагается в соответствующих руководствах и источниках. Поэтому сочтем достаточным наметить лишь перечень того материала, тех технических документов, кои необходимы будут каждому проектировщику.

§ 2. ОБЩИЕ ДАННЫЕ О ПРИСТУПЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОЕКТА НА МЕСТЕ.

В программу нашей работы не входит детальное изложение организации работ по выполнению оросительной системы. Но в общих чертах, для наметки основ организации работ, мы остановимся на некоторых моментах этой важной части осуществления оросительных проектов. Изложение этого параграфа разобьем на 5 отделов:

1. Трассировка оросительной и сбросной сетей.
2. Разбивка сооружений на местности.

3. Выбор строительных материалов для сооружений.

4. Общие начала выполнения различных работ.

5. Окончательная приемка выполненных сооружений.

Мы не ввели в настоящую главу еще одного момента — момента организации эксплуатации оросительной системы. Но этот вопрос подлежит изложению в особой работе, у нас же задача дать руководящие указания, как собрать на поле материалы, как их превратить в проект оросительной системы, как приступить к осуществлению проекта в натуре и как его закончить со сдачей оросительной системы водопользователям в эксплуатацию.

А. Трассировка оросительной и сбросной сетей.

Не касаясь в деталях способов перенесения на поле результатов трассировки оросительной и сбросной сетей на рельефном плане площади командования, мы отметим одно основное положение, которое нужно всегда помнить при установлении трасс оросительной и сбросной сетей: рельефный план площади командования дает лишь общую характеристику рельефа площади командования; поэтому при перенесении трасс с плана на местность всегда могут быть те или иные изменения в начертании в плане каналов оросительной системы. Если мы вспомним, что нивелировка касается точек местности, отстоящих не ближе чем на 107—213 м друг от друга, то для нас станет ясно, что этой нивелировкой не будут охвачены все переломы рельефа. Крупные изменения рельефа на расстоянии между двумя пикетами обычно отмечаются плюсами, но все же точной картины рельефа и, особенно, микрорельефа (т. е. рельефа местности в пределах между двумя соседними горизонталями) план в горизонталях не даст. Этот последний дефект — неточность рельефного плана — будет сказываться по преимуществу на трассах регулирующей сети и на расположении поливных площадок. Чаще всего для создания правильных условий полива водопользователям приходится производить выравнивание (планировку) поливных площадок. Если микрорельеф поливной площадки будет обладать разностью наибольшей и наименьшей отметок в 0,10—0,15 м, то планировка обойдется дешево. При разности отметок большей вертикального расстояния между двумя смежными горизонталями планировка может оказаться невыгодной. В этом случае приходится производить перетрассировку. Нередко и при трассе каналов приходится в силу неохвата нивелировкой всех изломов рельефа переносить таковую в другое положение. Это, ввиду того, что каналы соединены в целостную систему, может сказаться и на положении более крупных каналов. Поэтому по окончании проекта и по приступу к его осуществлению необходимо в первую очередь наметить направления каналов оросительной и сбросной сетей на местности согласно трассировке проекта. Последнее выполняется провешиванием осей каналов и закреплением их в натуре. В местах изменения направления оси к каналу обычными при-

мами разбивают кривые, соединяющие в угле поворота два участка канала. Трассировка каналов на местности производится с помощью нивелира, при чем в этом случае приходится разрешить задачу по отысканию на местности точки с определенной, заданной трассой канала отметкой. Иногда проектную трассу приходится изменять не только в силу каких-либо особенностей рельефа, но при наличии на трассе незначительных площадей сильно водопроницаемых почв. В этом случае предпочтительнее отклонить канал от намеченного трассой направления и вынести его на водопроницаемые почвы. Основой наивыгоднейшего направления канала является направление, дающее наименьшее количество насыпей, поэтому при наметке трассы в натуре приходится иногда отклонять канал в целях ведения его в полунасыпи-полувыемке.

В некоторых случаях удастся на местности, видоизменением направления трассы канала, исключить то или иное гидротехническое сооружение. Например, если канал пересекает вершину оврага, то бывает выгоднее отклонить канал от намеченного трассой направления и провести его выше тальвега, тем самым исключив необходимость сооружения акведука. Таким образом при разбивке на местности трассы каналов возможно некоторое изменение ее в целях удешевления и упрощения оросительной и сбросной сетей. При трассировке каналов проектная ширина канала по верху (в случае оросительных каналов в выемке и сбросных каналов), проектная ширина полувыемки (при прохождении канала в полунасыпи-полувыемке), границы подошвы насыпи (в случае прохождения канала в насыпи) намечаются на плане двумя параллельными рядами колышков. Эти точки дают возможность производства земляных работ. Трассировка оросительной и сбросной сетей является наиболее ответственной работой, ибо от этого зависит стоимость оросительной системы, так как земляные работы занимают до 40% стоимости оросительной системы.

Б. Разбивка сооружений на местности.

Параллельно с трассировкой ведется разбивка очертаний оснований сооружений. Выполняется это путем перенесения с проекта на местность очертаний оснований сооружений с помощью простейших угломерных инструментов и с закреплением вешками и колышками очертаний оснований сооружений. Переходя к деталям разбивки отдельных гидротехнических сооружений имеем следующее:

а. Регулятор. При разбивке основания регулятора намечают линии фундаментов подпорных стенок, шпунтовых рядов, обратных стенок, очертания флюتبета.

б. Перепад. При разбивке основания перепада намечают линии фундаментов водосливной и фильтрационной стенок, крыльев, шпунтовых рядов, основания водобойного ящика, флюتبета.

в. Сифон. Разбивка основания для сифона заключается в намечании

линий фундамента стенок колодца, крыльев, обратных стенок флютбета и постели под трубу сифона.

г. Акведук. Разбивка оснований для акведука заключается в намечании очертаний оснований крыльев флютбета и в намечании оси акведука и местоположения устоев акведука.

В. ВЫБОР СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

По геологической карте устанавливают места разработок строительного материала. Производят тщательное исследование поверхности строительного материала и определяют места выработки. Намечают места разработки — карьеры — грунтов для образования насыпей, карьеры песка, булыжника и строительного камня для кладки. Параллельно с намечанием карьеров берут пробы для испытания строительных материалов в целях выбора наилучших из них.

Г. ОБЩИЕ НАЧАЛА ВЫПОЛНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ.

Все работы могут быть сведены в следующий перечень:

1. Земляные работы.
2. Каменные работы.
3. Бетонные работы.
4. Железобетонные работы.
5. Металлические работы.
6. Плотничьи работы.
7. Мостовые работы.

В первую категорию работ относятся выкопка выемок и насыпка насыпей в каналах, разработка котлованов под сооружения. Обычно выполнение земляных работ производится вручную; при выполнении крупных оросительных систем применяется механизация земляных работ путем выработки конными лопатами, скреперами, драгами и экскаваторами. После выполнения профиля каналов приступают к сооружению насыпей с тщательной утрамбовкой таковых. Особенное внимание необходимо обращать на выполнение насыпей, ибо в канале наиболее слабым местом являются насыпи. По окончании насыпей приступают к планировке и укреплению откосов каналов. Вторые работы применяются при выполнении всякого рода сооружений и, главным образом, при возведении фундаментов сооружений. Каменная кладка бывает различная: насухо и с применением различных вяжущих растворов. Способ выполнения кладки, пропорции растворов — излагается в курсах строительных работ.

Наиболее сложными по выполнению являются бетонные и железобетонные работы. Благодаря своим качествам — легкости, прочности и сопротивляемости при различных условиях, — этот вид материалов завоевывает себе первое место,

Культуры	Средняя урожайность в кг на 1 га									
	Жеребц. имен.		Валуйск. уч.		Тингутич. уч.		Северн. Кавк.		Юг Украины	
	Орош.	Неорос.	Орош.	Неорос.	Орош.	Неорос.	Орош.	Неорос.	Орош.	Неорос.
Пшеница озим.	—	—	728	326	—	—	460	123	—	—
" яров.	1 533	383—613	—	—	949	313	1 073	138	—	—
Рожь озим.	—	—	615	278	—	—	583	77	—	—
Ячмень озим.	—	—	—	—	—	—	613	337	—	—
" яров.	—	—	—	—	1 398	460	1 319	92	—	—
Овес	1 380—2 300	690	701	339	1 254	32	—	—	—	—
Просо	1 686	613	632	232	897	353	—	—	—	—
Кукуруза	—	—	—	—	2 607	828	—	—	—	—
Картофель	—	—	—	—	—	—	—	—	13 800	3 833
Капуста	—	—	—	—	—	—	15 333	—	18 400	0
Бурак столов.	—	—	—	—	—	—	—	—	13 800	4 600
Морковь	—	—	—	—	—	—	—	—	7 667	3 834
Огурцы	—	—	—	—	—	—	—	—	6 900	3 067
Помидоры	—	—	—	—	—	—	—	—	16 866	0
Яблони	—	—	—	—	—	—	—	—	На 1 дерево	83
Вишни	—	—	—	—	—	—	—	—	250	6
Черешни	—	—	—	—	—	—	—	—	25	5
Абрикосы	—	—	—	—	—	—	—	—	17	10

и особенно в гидротехнических сооружениях. Подробности выполнения этого рода работ излагаются в соответствующих руководствах.

Деревянные работы (плотничьи и столярные) заключаются в забивке шпунтов, в выполнении стенок, полов сооружений, щитов в затворах регуляторов. Основой каждой деревянной работы является сопряжение различного характера.

Отдельные детали сооружений особенно те из них, которые работают на растяжение, выполняются из металла, чаще всего (за исключением арматуры железобетона) металлические работы заключаются в монтажке отдельных частей сооружений. Наконец, при укреплении каналов, мощениях флютбетов, сооружений, выполняются мостовые работы. Мостовые чаще всего выполняются на особо подготовленных основаниях.

Д. Окончательная приемка выполненных работ.

По выполнении всех перечисленных выше работ приступают к установке потребных для оросительной системы механизмов — подъемников, щитов сложной конструкции, насосных и гидро-электрических установок. После этого производят пробный пропуск воды по всем каналам оросительной и сбросной сетей, пускают в действие все механические установки. При пробе оросительной системы производят описание замеченных дефектов в ее исполнении, производят исправление их. При пуске в действие крупных оросительных систем порядок пробы может быть видоизменен, пуск в действие может быть выполняем по отдельным частям системы. Убедившись в правильности действия системы, исправивши дефекты ее, производят точное описание и обмер отдельных элементов системы и составляют на основании этого приемо-сдаточный акт. По подписании акта заканчивается период постройки оросительной системы и таковая переходит в эксплуатацию.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

ЭФФЕКТ ОРОШЕНИЯ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ, СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПОСЛЕДНИМИ И МЕРЫ ПРЕДОХРАНЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОРОШЕНИЯ.

§ 1. ЭФФЕКТ ОРОШЕНИЯ.

Орошение (в хозяйственном отношении) имеет своей целью воздействие на экономику определенного района. В силу этого основной эффект орошения — видоизменение экономических условий района орошения. Попутно орошение видоизменяет и естественно-исторические условия данного района — почвы, гидрологию и климат. Если воздействие орошения на экономическую обстановку района изучено и может быть определено в известных цифрах, то воздействие орошения на естественно-исторические условия изучено мало, выразить это воздействие в виде строгой зависимости, с какими-нибудь цифровыми коэффициентами, в настоящее время не представляется возможным.

В настоящем § мы в кратких чертах наметим степень влияния и эффект, производимый орошением на данный район по двум линиям — по линии экономических условий и по линии естественно-исторических условий.

А. Экономический эффект орошения.

Орошение, влияющее на почвенную влажность в районах, где почвенная засуха (недостаток почвенной влажности) представляет явление систематическое, создает значительный эффект в смысле повышения урожайности от нуля до возможного maximum'a.

В районах же, где почвенная засуха есть явление периодическое — повторяющееся через определенный (большой или меньший) промежуток времени, орошение обладает эффектом несколько меньшим, ибо растения в этих климатических районах могут обладать урожайностью и без орошения. Но увеличение урожая от орошения настолько велико, что допускает затраты на орошение в этих районах. Влияние орошения показывают сравнительные

цифры урожая на орошаемых и неорошаемых землях для района с неустойчивым увлажнением (по данным Гидромодульной части).

Приведенная таблица 97 (стр. 275) говорит, что:

1. В районах неустойчивого увлажнения наибольший эффект от орошения замечается на яровом ячмене, овсе и яровой пшенице и наименьший — на озимом ячмене.

2. Озимые злаки реагируют на орошение в $2\frac{1}{2}$ раза сильнее яровых (это понятно, ибо озимые используют зимние и осенние осадки, чего яровые хлеба не могут использовать).

3. Отзывчивость озимых злаков на орошение во много раз устойчивее, чем отзывчивость яровых злаков (в данном случае мерилom является амплитуда колебаний в приросте урожая при орошении).

Наиболее резко сказывается орошение в районах неустойчивого увлажнения в годы с явно выраженными засухами, поэтому нижеследующая таблица 100 особенно интересна, ибо она дает характеристику прироста урожая в засушливые годы (1906, 1912, 1921 и 1924) для четырех злаков на Валуйском орошаемом участке ¹⁾:

ТАБЛИЦА 99.

ультуры	Урожайность в кг на 1 га								Прирост сред. для засухл. лет	Пределы прироста для засухл. лет	
	1906		1912		1921		1924			Мак-сим.	Ми-ним.
	Орош.	Неор.	Орош.	Неор.	Орош.	Неор.	Орош.	Неор.			
Пшеница озим. .	1 156	86	391	66	343	29	920	31— 62	691	1 070	314
Рожь озим. . . .	1 225	81	489	46	218	35	1 150	31—124	783	1 144	183
Овес	722	109	820	115	176	75	951	31— 62	646	920	101
Просо	1 415	176	714	156	210	22	1 533	93—140	964	1 440	188

Эта таблица позволяет нам сделать следующие выводы:

1. Все злаковые культуры (исключение составляет овес) дают эффект орошения больше в годы засухи, чем в годы средние (это объясняется тем, что в годы засух не могут быть растениями использованы даже осенние и зимние осадки, ибо таковых весьма мало).

2. Отзывчивость злаков (за исключением овса, который ведет себя, как и в предыдущем, обратно остальным) в годы средней увлажненности значительно устойчивее, чем в годы засух.

¹⁾ Из результатов исследований Гидромодульной части.

Рентабельность орошения (в дополнение к сказанному в § 5 главы I настоящей работы, где мы измеряли ее в стоимости оросительной системы) определяется, главным образом, чистым доходом, который приносит единица орошаемой площади, занятая данной культурой. Рентабельность изменяется в зависимости от вида культурного растения, от характера и степени совершенства сооружений оросительной системы, от цен на продукцию орошаемого хозяйства. В дальнейшем мы не будем приводить данных, позволяющих нам делать обобщения, а просто приведем иллюстрацию чистой доходности в различных орошаемых районах.

Нижеприводимая таблица, характеризующая чистую доходность одной десятины орошаемой земли, занятой той или иной культурой, дает нам более правильное понятие по этому вопросу ¹⁾:

Т А Б Л И Ц А 100.

К у л ь т у р а	Аренда за землю	Стоим. оросит. сети	О б р а б о т к а			Пропаш. и окучив.
			Вес. пах.	Борон.	Посев	
в р у б л я х н а д е с я т и н у						
Картофель	15,38	19,72	8,87	5,00	11,82	25,0
Капуста	15,38	19,72	8,87	5,00	24,80	25,02
Огурцы	15,38	19,72	8,87	5,00	29,19	27,63
Помидоры	15,38	19,72	8,87	5,00	17,25	15,15

К у л ь т у р а	Семена	Полив	Уборка	Весь расход	Весь доход	Чист. доход
Картофель	78,75	36,03	73,43	274,04	361,13	87,0
Капуста	1,29	31,33	19,81	151,22	516,23	365,00
Огурцы	20,49	41,92	72,00	240,10	323,70	83,60
Помидоры	10,58	46,66	30,00	168,71	468,75	300,00

¹⁾ Н. С. Фролов. Орошение в Новоузенском уезде, стр. 153.

Все изложенное выше характеризует непосредственный эффект орошения. Помимо этого непосредственного эффекта, орошение влияет также на общую экономику района орошения — усиливает грузооборот, создает внутренние рынки, привлекает рабочие руки и т. п.

Увеличение грузооборота, как результат орошения, представлено в следующей таблице, относящейся к Мирзачульской оросительной системе (ст. Мирзачуль, бывш. Голодная Степь Ср.-Аз. жел. дор. ¹⁾).

ТАБЛИЦА 101.

Грузооборот	Прибыло				Отправлено			
	1912		1913		1912		1913	
	Число от-правл.	Вес тонн	Число от-правл.	Вес тонн	Число от-правл.	Вес тонн	Число от-правл.	Вес тонн
Прямое сообщение								
Повагонн. груз	584	6 000	543	7 100	240	2 300	310	2 500
Мелочи. груз	2 917	2 300	3 652	3 000	770	1 100	790	1 250
Хлопчатник	—	—	—	—	119	710	218	2 400
Местное сообщение								
Повагонн. груз	1 184	15 250	1 838	24 250	719	6 250	482	4 350
Мелочи. груз	1 075	850	1 292	1 150	543	1 200	847	2 550
Хлопчатник	—	—	—	—	89	510	102	850
Итого . . .	5 760	22 400	7 325	35 500	2 480	12 070	2 749	13 900

Хлопковая культура в Голодной степи возможна только при орошении, поэтому увеличение хлопковых посевов возможно лишь при увеличении орошаемой площади. Обработка орошаемых хлопковых посевов требует значительного оборотного капитала. Поэтому рост хлопковой площади, происходящей на 1 хозяйство, может характеризовать рост благосостояния хозяйств. С этой точки зрения интересна следующая таблица 103, относящаяся к росту хлопковой площади в поселках Спасском, Надеждинском и Сре-тенском, расположенным в Голодной степи ²⁾:

¹⁾ В. Ф. Караваев. Указанная работа, стр. 120.

²⁾ В. Ф. Караваев. Указанная работа, стр. 229.

ТАБЛИЦА 102.

Г о д ы	Число хозяйств, имеющих хлопок.	Площадь орошаемого хлопка в га	Орошаемый хлопок на 1 хозяйство га
1911	201	775,2	3,85
1912	263	1 029,1	3,91
1913	348	1 515,9	4,36
1914	657	4 205,7	6,40

Если принять чистую доходность орошаемого хлопка на 1 га в 150 руб. (по данным А. А. Предтеченского — 1914—1915 гг.), то для приведенного примера будем иметь увеличение дохода хозяйств в следующей постепенности:

ТАБЛИЦА 103.

Г о д ы	Орошаемая хлопковая площадь на 1 хозяйство га	Чистая доходность хлопка	Увеличение чистой доходности в % от перв. года
1911	3,85	578 р.	100%
1912	3,91	594 „	103%
1913	4,0	660 „	114%
1914	5,7	941 „	163%

Орошение только ограниченных районов влияет на благосостояние всего государства. Россия в начале развития орошения и культуры хлопчатника в Туркестане должна была покупать таковой на иностранных рынках, т.-е. должна была платить известную часть стоимости хлопка иностранному капиталу сверх себестоимости хлопка. Это заставляло часть государственных средств передавать за границу. Развивая орошение хлопка, государство оставляло эти средства внутри себя, увеличивая, таким образом, свое благосостояние. Следовательно замена иностранного хлопка русским, а таковая возможна лишь при развитии орошения, влекло за собой улучшение эконо-

мики государства. Нижеприводимая таблица характеризует влияние роста орошения на экономику государства ¹⁾).

ТАБЛИЦА 104.

Г о д ы	Хлопка получено	
	Русского	Иностранного
	в процентах	
1890—1894	28	72
1895—1899	32	68
1900—1904	37	63
1905—1909	46	54
1910	51	49

Из таблицы очевидно освобождение русской текстильной промышленности от зависимости иностранного рынка. Таким образом из изложенного ясно воздействие орошения на экономику государства и хозяйства.

Б. Влияние орошения на естественно-историческую обстановку района орошения.

Каким же образом благотворно влияет орошение на естественно-историческую обстановку орошаемого хозяйства?

Больше всего влияет орошение на почвы района орошения. Наиболее ярко сказывается благоприятное воздействие орошения на почвы песчаные. Неблагоприятные по своему механическому составу, по своим физическим свойствам для растений, эти почвы благодаря орошению (благодаря содержанию в оросительной воде взвешенных наносов) колыматируются становятся вполне удобными для сельскохозяйственного их использования. При определенном характере орошения возможно изменение химического состава почв в сторону благоприятную для сельского хозяйства. Увеличение почвенной влажности есть тоже благоприятное для сельского хозяйства воздействие орошения на почвы. Но одновременно (особенно при нерациональных формах орошаемого хозяйства) орошение зачастую, влечет за собой неблагоприятные изменения химического состава почв. Наконец, возможны случаи, когда бедные питательными веществами почвы обогащаются за счет

¹⁾ З. С. Каценеленбаум. Мелиорация, мелиоративные товарищества и мелиоративный кредит, стр. 163.

наносов, приносимых при орошении оросительными водами, и получают устойчивое плодородие. Орошение влияет также и на гидрологию района орошаемых площадей. Вместе с увеличением почвенной влажности непосредственным введением в почву оросительной воды, развитая сеть каналов (в большей степени проходящей в насыпи) меняет режим поверхностного стока, замедляя или уничтожая таковой. Развитая сеть сбросных каналов, особенно в том случае, когда эти каналы значительной глубины, усиленно дренируя почвы, благоприятные в естественном состоянии для заболачивания, уничтожают возможность такового. Миллионы и десятки миллионов кубических метров оросительной воды, расходуемой на орошение, влекут за собой увлажнение почв и тем самым создают увеличение водных ресурсов районов орошения. При некоторых типах головных сооружений (с водоподъемными плотинами на источнике орошения) режим источников орошения в корне изменяется: губельные для долины паводки прекращаются, прекращаются наводнения, благодаря чему уничтожаются и причины, вызывающие заболачивание долины источника орошения. При некотором взаимном положении источника орошения и орошаемой площади возможно усиление водности рек за счет фильтрационных вод площади орошения. Там, где река на весь вегетационный период пересыхала, благодаря орошению возможно обводнение ее за счет сбрасываемых с оросительной системы вод и за счет усиления источников, выклинивающихся в русле реки.

Наиболее неизученной областью является взаимодействие орошения на климат. Если теоретически ясно, что благодаря орошению климат становится мягче — уменьшаются амплитуды колебаний температуры, уменьшается интенсивность испарения, увеличиваются осадки, — то практически это мало еще доказано соответствующими цифровыми материалами. Гидромультипликаторная часть Н. К. З. рядом кратковременных наблюдений¹⁾ над характером климата, над орошаемой площадью и над неорошенной степью в районе Валуевского орошаемого участка (в пределах АССРП) пока получила следующие выводы:

1. Над поверхностью водохранилищ и над орошаемыми площадями относительная влажность воздуха больше на 30% (абсолютно) и на 65% (относительно), чем над неорошаемыми площадями.

2. Над поверхностью водохранилищ и над орошаемыми площадями температура воздуха ниже на 3°—6°, чем над неорошаемыми площадями.

3. Эти изменения двух элементов климата распространяются на незначительное расстояние от границ орошаемых площадей (не более 300 м по данным Гидромультипликаторной части).

4. Все эти явления особенно резко сказываются над орошаемой луговой с хорошим травостоем.

Таков в общих чертах эффект орошения.

¹⁾ Из результатов мелиоративных исследований Гидромультипликаторной части Н. К. З. Изд. Гос. Инст. Сел.-Хоз. Мел.

§ 2. ВРЕДНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОРОШЕНИЯ.

На-ряду с положительным эффектом при орошении возможно ждать и вредных последствий. Если бы возможно было точно установить водораспределение в оросительной системе, если бы мы могли совершенно избежать кольматажа (заиления) оросительной системы, если бы орошаемая площадь обладала достаточным естественным дренажом, то вредные последствия орошения отсутствовали бы. Но, к несчастью, эти условия или каждое в отдельности или в некоторой комбинации всегда налицо в каждой оросительной системе, поэтому проектирующему оросительную систему приходится считаться с наличием этих ухудшающих положение условий и вводить в проект соответствующие предохранительные мероприятия.

Все вредные последствия орошения могут быть соединены в следующие основные группы:

1. Заболачивание орошаемых площадей.
2. Засолонение орошаемых земель.
3. Заиление оросительной системы.
4. Ухудшение санитарно-гигиенических условий населения.

Последнее обычно является следствием первых двух, но по степени своего влияния на жизнь хозяйствующего населения района орошения должно быть поставлено в особую группу. Применительно к приведенной выше группировке мы и рассмотрим каждое вредное последствие орошения. Что же касается предохранения оросительной системы от этих последствий, а также мер борьбы с ними, то эти вопросы мы разберем в следующем § настоящей главы.

А. Заболачивание орошаемых земель.

Заболачивание минеральных (не торфяных) почв есть явление, характеризующееся, главным образом, таким повышением почвенной влажности, при котором весь объем пор и пустот в почве заполнен влагой и при котором почвенный воздух почти полностью вытесняется влагой. Если такое явление в почве наблюдается, то следствием его является создание условий, вызывающих прекращение роста растения, прекращение прироста сухой массы его. Это явление вызывается или излишними количествами воды, поступающими в почву с ее поверхности, или же излишними количествами воды, заполняющими поры и пустоты почвы при повышении уровня грунтовых вод. Оба эти условия наблюдаются тогда, когда расход естественного или искусственного дренажа почвы меньше притока воды в почву. Орошаемые земли подвергаются заболачиванию в том случае, если:

- а) количества воды, расходуемые на полив очень велики,
- б) почва не обладает хорошим дренирующим слоем, ее подстилающим;
- в) оросительная система подвергается на большее или меньшее время подтоплению поверхностными или грунтовыми водами;

г) уровень грунтовых вод, в силу тех или иных причин, имеет стремление повышаться.

Первое условие заболачивания орошаемых земель проявляется с особенной силой, если водопользователи недостаточно знакомы с техникой полива, если поливные площадки имеют слабо расчлененный рельеф и малый уклон, если водообеспеченность района орошения велика. Во всех этих случаях мы наблюдаем повышенные поливные нормы и последующий подъем уровня грунтовых вод и заболачивание. Весьма возможно, что болота в чистом виде и не образуются (хотя нам приходилось встречать явные признаки заболачивания орошаемых земель — выход воды на дневную поверхность и развитие болотных растений), но по характеру своей жизни почва будет заболочена. Наиболее резко это явление сказывается в хвостовых системах, обладающих значительной водообеспеченностью и нерациональным водопользованием на их границе, ибо таковая обычно подтопляется фильтрационными с верховьев системы водами. Заболачивание, и довольно интенсивное, наблюдается в районах рисовых посевов по границам таковых.

Б. Засолонение орошаемых земель.

Тесно связанным с заболачиванием является процесс засоления орошаемых земель — процесс увеличения количества повышенной концентрации почвенных растворов. Заболачивание орошаемых земель является постоянным лишь на границе, на самой же их территории обычно таковое явление продолжается весьма недолгое время; затем поверхность орошаемых земель освобождается от воды, так как под влиянием солнечной инсоляции и прочих климатических факторов начинается интенсивное испарение. В том случае, когда соленосный горизонт залегает неглубоко, влага поднимается по капиллярам к поверхности и, растворяя при своем движении вверх эти соли, выносит их на поверхность орошаемых земель. Нередко эти соли, сдвинувшись с места их зарождения, не достигают поверхности земли, а отлагаются в том слое почвы, который подвержен непосредственному воздействию солнца и который обычно совпадает с слоем развития корневой системы растений. Такое явление может быть вызвано или водами, попадающими в почву сверху — оросительными водами, или же повышением уровня грунтовых вод в силу смыкания последних с оросительными водами. Эти явления могут наблюдаться, если почвы обладают определенным соленосным горизонтом (с содержанием в нем солей — NaCl , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , MgSO_4 , MgCl_2 и др. вредных или бесполезных растений) и если почвы не обладают достаточным естественным или искусственным дренажем. Засолонение орошаемых земель вызывается так же, как и при заболачивании земель, неумеренным водопользованием, слабо расчлененным рельефом поливной площадки, отсутствием естественного или искусственного дренажа.

В. ЗАИЛЕНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ.

Не менее важным является следующее вредное последствие орошения — заиление каналов оросительной системы и самой орошаемой площади. Это явление, вначале приносящее пользу оросительной системе, в дальнейшем несет неисчислимый вред — заиление каналов требует ежегодно огромных расходов на очистку каналов от наносов, выпавших в каналах из оросительной воды (так, например, в бывш. Аму-Дарьинском отделе Туркестана расход на ежегодную очистку только головных частей систем достигает 16 рублей на 1 десятину (для 1924 года); улучшив механический состав почв района орошения, наносы оросительной воды в дальнейшем уплотняют почву, изменяя, таким образом, физические свойства в худшую сторону, повышают поверхность поливных площадок, благодаря уплотнению почв создают условия, благоприятные для образования солонцев и т. п. Здесь все же необходимо подчеркнуть, что в меру отлагающиеся наносы до известного предела улучшают и физические свойства почв и их химический состав — увеличивают плодородие почв за счет питательных веществ (N, K, P), содержащихся в взвешенных и растворенных наносах. Но за этим пределом вред, приносимый наносами орошаемой площади, увеличивается, и благодаря этому является необходимость прибегать к ряду мероприятий, удорожающих культуру таких земель.

Г. Ухудшение санитарно-гигиенических условий.

Излишнее водопотребление, отсутствие в оросительной системе естественного и искусственного дренажа, прогрессирующее заиление оросительной системы влечет за собой образование стоячих водоемов с болотными растениями и с водой высокой концентрации. Население, живущее в районе расположения такой оросительной системы, испытывает ухудшение санитарно-гигиенических условий своего существования. Усиливаются различного рода заболевания людей, животных. Стоячие водоемы благоприятствуют зарождению и развитию комара — переносителя малярии, соленые воды, проникая в грунтовые воды, на каковых построено водоснабжение населения, портят таковые, и источники водоснабжения становятся причиной развития желудочных заболеваний (брюшной тиф, дизентерия, гастриты и пр.). Население, долгие годы живущее в таких условиях, слабеет и становится восприимчивее к разного рода болезням (иногда, как нам удалось наблюдать в туземных населенных пунктах Узбекской ССР, целые населенные пункты вымирали вследствие развития в этом районе тропических форм малярии).

Нижеследующая таблица 106, относящаяся к пос. Спасскому, расположенному в районе Голодностепской оросительной системы и составленная на основании записей Спасской амбулатории, показывает нам рост малярийных

заболеваний в связи с ростом орошаемой площади и неумеренным водопотреблением ¹⁾:

Т А Б Л И Ц А 105.

Г о д ы	Хлопковая орошаемая площадь га	Общее число заболеваний	Число малярийных заболеваний	‰‰‰ малярийных заболеваний
1909	73,4	2 611	439	17
1910	259,9	4 111	879	21
1911	547,9	3 923	1 031	26
1912	693,2	4 114	1 160	28

Вывод напрашивается сам собой (если принять, что орошаемая хлопковая площадь растет пропорционально общей орошаемой площади): при неумеренном водопользовании (а это мы имеем в полной мере в голодноостепских русских поселках) с ростом орошаемой площади растет и малярия, при чем помимо этого увеличивается и степень ее интенсивности.

§ 3. МЕРОПРИЯТИЯ БОРЬБЫ И ПРЕДОХРАНЕНИЯ ОТ ВРЕДНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОРОШЕНИЯ.

В настоящей работе мы затронем только те мероприятия, которые предохраняют или позволяют вести борьбу с заболачиванием, засолением и заилением. Что касается санитарно-гигиенических условий, то, предохраняя оросительную систему от заболачивания, засоления и заиления, мы тем самым предохраняем и население от ухудшения санитарно-гигиенических условий его существования. Если же эти условия в районе орошения плохи, то улучшение таковых может быть достигнуто следующими мероприятиями:

- 1) организацией правильной медицинской помощи,
- 2) борьбой с возбудителями болезней (нефтевание мест зарождения малярийных комаров, дезинфекция питьевых вод и пр.),
- 3) переустройство источников водоснабжения,
- 4) перепланировка или перенос жилых построек и населенных мест.

В цикле этого рода мероприятий особенное значение нужно придать мероприятиям культурно-просветительного характера — ознакомлению населения с источниками и причинами развития эпидемий, пропаганда среди насе-

¹⁾ В. Ф. Каравасев. Указанная работа, стр. 107 и 228.

ления идей гигиенических построек и т. п. Так как все эти мероприятия не входят в программу нашей работы, то в дальнейшем мы будем касаться лишь мелиоративных мероприятий, подчеркнув только то обстоятельство, что мероприятия медицинского характера не будут иметь никакого значения, если не будут удалены причины плохих санитарно-гигиенических условий. Малярия будет свирепствовать, несмотря на правильно организованную медицинскую помощь, если не будут удалены условия, благоприятствующие заболачиванию данного района. В силу этого врачевание населения должно идти рука об руку с рациональным строительством везде и особенно в районах орошения.

Что же касается вредных последствий орошения — заболачивания, засоления и заиливания оросительных систем, то этих последствий можно избежать, если ввести при проектировании и выполнении оросительных систем ряд предохранительных мероприятий. В случае, если таковые не вводились в свое время, то возможно применение ряда мероприятий по борьбе с этими последствиями орошения. Обе группы мероприятий могут быть соединены в следующую классификацию (таб. 107).

В приведенной классификации можно оттенить следующие основные группы мероприятий:

1. Организация правильного водопользования и правильных форм хозяйства на орошаемых площадях.
2. Рациональные конструкции оросительных систем (сооружений и каналов).
3. Рациональные приемы борьбы с вредными последствиями орошения — организационного и конструктивного характера.

Так или иначе, но основой вредных последствий орошения, кроме характера почв, где обычно и проявляются эти последствия, является прежде всего нерациональность водопользования. Например, бороться с потерями оросительной воды (а следовательно с заболачиванием) возможно не только путем одежды каналов различной конструкции, но прежде всего и более радикально бороться с потерями путем уменьшения расходов воды в каналах. Это достигается введением очередного водопользования, применением рациональных способов полива, тщательной планировкой поливных площадок, введением правильных с точки зрения водопотребления севооборотов и т. п. В конечном счете, если одежды каналов (дорого стоящие, заметим мы) сохраняют до 50% оросительной воды, теряющейся на фильтрацию, то рациональное водопользование в связи с одеждами может сохранить нам воды еще большее количество.

Возможность предупреждать заболачивание, засоление и заиливание при проектировании оросительной системы указывалась нами в первой части настоящей работы.

Остановимся несколько более подробно на промывке солонцев с последующим отводом промывных вод. Промывка засоленных земель требует

Т А Б Л И Ц А 106.

Вредные последствия	М е р о п р и я т и я	
	п р е д о х р а н е н и я	б о р ь б ы
Заболачивание	<ol style="list-style-type: none"> 1) Организация рационального водопользования. 2) Рациональная проектировка сбросной и дренажной сети. 3) Организация правильного с точки зрения водопользования севооборота. 4) Конструирование сети с таким расчетом, чтоб потери были наименьшими. 5) Регулирование водоприемников сбросных вод. 6) Планировка поливных площадок. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Усиление сбросной сети. 2) Увеличение уклонов оросителей (надельных распределителей). 3) Выполнение дренажной сети. 4) Одежда каналов оросительной сети особенно сильно фильтрующих. 5) Введение очередного водопользования.
Засолонение	<p>Те же, что и для предохранительных мероприятий в случае заболачивания.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Промывка с развитием дренажной сети. 2) Углубление сбросной сети. 3) Те же, что и для случая заболачивания.
Заявление	<ol style="list-style-type: none"> 1) Надлежащая конструкция головного сооружения. 2) Оборудование водосбросами оросительной сети. 3) Конструирование незаияющих профилей каналов оросительной сети. 4) Усиление уклонов, даже если бы пришлось прибегать к одедам. 5) Правильная эксплуатация оросительной сети. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Промывка водохранилищ и головных сооружений. 2) Очистка от наносов головных участков оросительной сети.

устройства дренажной сети. Основные принципы проектирования дренажной сети излагались нами в соответствующих §§ предыдущих глав. Здесь мы приведем сведения о дренаже солонцеватых земель в разных странах. В практике промывка засоленных земель выполняется путем затопления таковых большими количествами воды (в размере оросительной нормы для рисовой культуры, каковая колеблется в пределах от 17 000 м³ до 26 750 м³ на 1 га) и спуска этих количеств воды в соответствующим образом выполненную дренажную сеть. Дренаж засоленных и промываемых земель бывает трех типов:

1. Открытый дренаж — дрены и коллектора открытые.
2. Закрытый дренаж — дрены и коллектора закрытые.
3. Комбинированный дренаж — дрены закрытые, коллектора открытые.

Примеры выполненного дренажа засоленных земель в различных орошаемых районах приводятся в нижеследующей таблице 108, составленной по указанной выше работе проф. А. Н. Костякова.

Т А Б Л И Ц А 107.

Местонахождение дренажа	Тип дренажа	Диаметр дрены или разм. канала	Глубина заложен.	Расстояние между дренами	Длина дрен
		М е т р о в			
Солонцы Абукира 1)	Открыт.	—	0,80	50,0	150,0
Вади Тумила 1) . .	„	—	0,80	100,0	—
Дамру 1)	„	—	0,75	35,0	—
„ 1)	Закрыт.	—	0,75	11,0	—
Фресно-Калифорн. 1)	„	0,10—0,20	—	—	—
Юта — Город Соле- ного Озера 1) . .	„	0,80—0,10	1,22	45,7	—
Вайоминг-Ларами 1)	„	0,15—0,20	0,91—1,52	152,0	—

Оросительная практика обладает одним лишь способом улучшения засоленных земель — промывкой их с выводом промывных вод в соответствующим образом выполненную дренажную сеть.

В настоящее время до 1912 года количество дренированных орошенных земель в Америке и Египте по данным Ж. Барруа и Ч. Броуна весьма велико; так, в одном Египте насчитывается дренированных земель свыше

¹⁾ А. Н. Костяков. Основн. элем. расч. осушит. систем, стр. 218—219.

1 500 000 *а*¹⁾ и в штате Юта до 200 000 *акр.* Несмотря на такое распространение дренажа, — преимущественно в Египте (Нижнем), все же предел этому распространению кладет значительная стоимость. Если мы имеем дренажную сеть с глубиной заложения в 1,25 м, расстоянием между дренами в 50 м, длиной дрен в 100 м и диаметром дрен в 0,20 м, то стоимость одних земляных работ (по довоенным ценам), работ по укладке и стоимость самих труб выразится в следующих цифрах на 1 *а*:

1. Земляные работы	280 м ³ × 0,3 р.	= 84 р.	— к.
2. Укладка	200 м × 0,03 „	= 19 „	35 „
3. Стоимость труб	200 м × 0,12 „	= 24 „	18 „
		Всего	127 р. 53 к.

Таким образом стоимость дренажа настолько велика, что выполнение его возможно лишь на тех землях, где культивируются высокоценные растения. Для условий, например, Поволжья и Северного Кавказа применение дренажа возможно лишь в том случае, когда на дренированных землях предполагают разводить сады, виноградники, огороды. Хлебные злаки и даже люцерна своей доходностью не покроют расхода на сооружение дренажа.

Таковы в общих чертах мероприятия по предохранению и борьбе с заболачиванием, засолонением и заилению оросительных систем. Здесь будет уместно еще раз подчеркнуть, что лучшим способом предохранения орошаемых земель от этих трех основных вредных последствий орошения является правильное проектирование оросительной системы и организация правильного водопользования на ней.

1) Ж. Барруа. Ирригация в Египте, стр. 211.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ИСТОРИИ ОРОШЕНИЯ И О РАЗВИТИИ ОРОШЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ.

§ 1. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОРОШЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ.

А. Краткий очерк развития оросительного дела.

Человек еще на заре своего существования стал применять орошение как способ получения урожая в таких местах, где естественной влаги не хватало. Думается, что еще тогда, когда доисторический человек стал впервые прибегать к посеву растений, он тогда уже искал возможность использовать для посева те естественные впадины, в которых скапливалась вода и где растительность развивалась лучше, чем на остальных выше лежащих местах. Уже в этом неосознанном действии нужно искать приемы искусственного увлажнения земель.

До наших времен сохранились свидетельства истории об орошении огромных площадей, о выполнении колоссальных оросительных сооружений в Египте, в долине Тигра и Евфрата.

Но этот период есть период недостаточно совершенных форм орошения. А об эволюции орошения, о постепенном переходе орошения от ливанного (без транспортирующей сети) к правильному канализационному — свидетельств в истории не осталось. Поэтому приходится допустить следующую гипотезу происхождения орошения, поддерживаемую некоторыми деятелями орошения.

Начало орошения нужно искать в использовании естественных впадин для посева. Видимо, это было свойственно различным районам, различным народам, но зародилось в тех районах, где осадков достаточно для естественного увлажнения впадин рельефа. В климате же более сухом население размещалось по долинам рек, имевшим в этих районах бурный режим и значительные поднятия уровня во время паводка, сопровождавшиеся затоплением прибрежных земель. По спаде воды эти пространства, в отличие от высоких склонов долины, производили большую продукцию растений. Ежегодные затопления навели население на мысль удерживать воды несколько большее

количество времени над землями, занятыми, может быть, пастбищами. Отсюда был сделан шаг к сооружению валов и созданию бассейнов затопления подобно египетским и другим. В климате более влажном, но относящемся к районам неустойчивого увлажнения, это вылилось в образовании валов по горизонталям и лиманов, питаемых водами стока. Примеры этих простейших типов орошения мы встречаем и до сих пор — в Нижнем Поволжье лиманы искусственные, лиманы естественные, бассейны затопления на Ниле, затопление прилегающих к рекам пространств земли путем прорыва береговых валов в Семиречье и пр. В дальнейшем население подошло вплотную к возможности вывода воды из рек на долины их путем устройства коротких каналов.

Мысль начала работать над возможностью подведения воды из реки к отдельным пунктам. Но эта сеть каналов кончалась площадями, неогражденными валами, и затопление их шло беспорядочно. Этой эволюцией твердо установлена была мысль о возможности увеличить урожайность на недостаточно увлажненных землях за счет приводимых извне количеств воды. Простейшая и неразвитая сеть оросительных каналов выполняла удовлетворительно возложенные на нее задачи вывода воды в бассейны затопления. Но для некоторых долин (например, реки Аму-Дарьи — ее низовьев) в связи с недостаточностью однократного увлажнения стала перед населением задача о простейших способах подъема воды на лежащие высоко и незатопляемые паводками земли. Выполнение водоподъемников тоже имеет свою эволюцию — от простых черпаков, приводимых в движение одним-двумя человеками, до чигиря, приводимого в движение силой животных. В исторические эпохи были выработаны и прочие водоподъемники — различного типа колеса, винт Архимеда и пр. И, наконец, в нашу эпоху конструирование водоподъемников достигло своего развития, и к данному моменту возможность использования различных источников энергии создало совершенные типы водоподъемников — центробежные насосы с производительностью равной расходу небольшой реки и с возможностью подъема воды на высоту до 900 м.

Развитие строительства гидротехнических сооружений шло медленнее и не так равномерно, как развитие способов задержание воды. От прокопа берегового вала, вала лимана, от перегораживания небольших речек и потоков значительными земляными массами строительство шло по пути выполнения регуляторов, простейших акведуков. К данному моменту техника строительства гидротехнических сооружений, при введении в сооружения железобетона, достигла высокого совершенства: для современного оросителя нет пределов ни в смысле скопления определенных объемов воды, ни в смысле выполнения гидротехнических сооружений для преодоления тех или иных препятствий. Наша эпоха знаменуется громадным развитием и усовершенствованием оросительных сооружений, и несмотря на то, что гидротехнические сооружения ассирийско-вавилонян, древних египтян, ацтеков Америки были колоссальны и в некоторых случаях имели размеры до сих пор не превзойденные, без

преувеличения можно сказать, что орошение как известное техническое достижение есть дело современной человеческой эпохи. Если сооружения есть продукт современной эпохи, есть результат развития современной техники, то способы полива есть дело самих хозяйствующих масс. Упорным, кропотливым трудом, движением ощупью народы недостаточно увлажненных областей прошли путь от залива прилегающих к рекам площадей до небольших (в 0,15—0,25 га) площадок, разделенных на джояки или грядки. Упорным трудом, ценой потери ряда урожаев народы орошаемых районов осознали необходимость в проведении сбросной сети. Бедность водных ресурсов заставила их ввести очередность получения воды, заставила подобрать особые формы севооборота, требующие меньшие количества воды, но не заставила их выполнять технически-рациональные сооружения.

Таким образом техника и порядок водопользования есть дело самого хозяйствующего населения, и только в последнее время техника начала работать над созданием рациональных способов полива: напорных систем Калифорнии, различных типов дождевания. Такова эволюционная последовательность развития оросительной техники. Еще нельзя сказать, что ум человеческий изобрел все, что может быть применено в орошении при современной экономической конъюнктуре, но в настоящее время, при наличии, вероятно, не более 20% технически рациональных оросительных систем, перед оросителями стоит основная задача по коренному переустройству всех оросительных систем мира и по развитию новых орошаемых площадей за счет освобождающихся водных ресурсов вследствие улучшения оросительных систем.

Б. История орошения.

Орошение как известная сельскохозяйственная гидротехническая мелиорация насчитывает не одну тысячу лет. Еще за 4—5 тысяч лет до нашей эры по археологическим источникам устанавливаются очаги орошения — долины Нила, Тигра и Ефрата, Ганга, Аму-Дарьи, Сыр-Дарьи, Зеравшана, Мургаба, Атрека и Гюргена. Долины рек Сирии, Курдистана, Персии имеют остатки сооружений многотысячной давности. Западная Европа — Испания, Швейцария, Италия — имеет также свидетелей тому, что в былые века здесь было орошение. Остатки ацтекской и более древней культуры в Америке показывают, что орошением как способом поднятия сел.-хоз. культуры пользовались еще за много тысяч лет до нашей эпохи. Наиболее классическими странами в смысле орошения являлись долины Нила, Тигра и Ефрата и туркестанских рек.

Остатки огромных плотин, колоссальных каналов (с шириной по дну до 120 м¹⁾ и глубиной до 10 м) показывают, что орошение достигало в этих долинах громадного развития и значительной технической совершенности.

¹⁾ Леви Сальвадор. Указанная работа, стр. 511.

Громадные плотины на р. Тигре у развалин Ниневии показывают, что Ассиро-Вавилонское царство использовало свою реку для орошения; плотина на р. Куране, притоке Шат-Эль-Араба, у развалин г. Сузы до сих пор приводит в изумление техников своей грандиозностью и совершенством для тех времен техники выполнения. Многотысячные бассейны затопления в среднем Египте продолжают существовать до 6000 лет и сохранялись до 1903 года без изменения. Целые сотни верст киразов в Персии сохраняются целиком или в развалинах не одну тысячу лет и используются и использовались для орошения.

Таким образом можно сделать нижеследующий вывод: реки являлись центром культурной жизни; культура в долинах перечисленных выше рек была высока; техника выполнения оросительных сооружений была достаточно совершенна.

Остановимся несколько подробнее на истории орошения в Туркестане и охарактеризуем ее по академику В. В. Бартольд¹⁾.

Источниками для изучения истории возникновения орошения в Туркестане служат только арабские источники, которые касаются, главным образом, мусульманской эпохи. Сведений о культуре Туркестана в домусульманский период весьма скудны, и лишь отдельные указания касаются времени династии Ахименидов. Раскопки некоторых археологов (Пемпелли, Букинич) говорят, что Туркестан (точнее склоны Копет-Дага) являлся культурным центром еще за 10 000 лет до нашей эры. Это некоторым образом доказывается раскопками курганов близ древнего города Анау. Между этими данными и данными арабских источников существует громадный пробел. Но все же можно сказать, что Туркестан и его водные артерии был центром орошаемой культуры, каковая, по мнению некоторых знатоков (например, Пемпелли и Букинич), распространялась отсюда в Малую Азию, в долины Тигра, Ефрата и Нила.

Еще до суммеро-акадийцев орошение как сельскохозяйственный прием известен был среди населения Туркестана. Затем сведений не имеется, и лишь с времен династии Ахименидов за 3—4 века до новой эры в исторических документах появляются отрывочные сведения о Туркестане.

Та культура и те успехи в орошении, которые в настоящее время наблюдаются у туземцев Туркестана, имеют давность не более 2000—2200 лет. И этот период характеризуется именно современным состоянием туземного орошения. Почти без преувеличения можно сказать, что туземное орошение в Туркестане осталось таковым, каковым оно было за 2000 лет до нашей эры, в смысле отдельных сооружений, и получило большой опыт и совершенство в смысле техники полива.

В общем, при анализе исторических условий можно сказать, что оро-

¹⁾ Академик В. В. Бартольд. К истории орошения Туркестана.

шение Туркестана одно из древнейших. Есть указания на то, что орошение распространилось из Туркестана, и что Туркестан за последние 2000—2200 (а может быть и больше) лет представлял из себя культурный оазис с высокоразвитой культурой, торговлей и сельским хозяйством.

§ 2. НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О РАЗВИТИИ ОРОШЕНИЯ В ДРУГИХ СТРАНАХ.

В заключение охарактеризуем в кратких словах размеры орошаемой площади всего мира. Мы должны предварительно оговориться, что нижеприводимые цифры прежде всего не охватывают все страны и государства, а с другой стороны, размеры орошаемых площадей показаны по данным различных лет. Но колебания орошаемых площадей в основных районах орошения (Америка, Египет, территория СССР, Индия) колеблются по отдельным годам незначительно, ибо при современном состоянии техники возможности в области орошения более или менее использованы. Поэтому для определения масштаба орошения возможно принять следующие цифры.

А. РАЗМЕР ОРОШАЕМОЙ ПЛОЩАДИ ВСЕГО МИРА.

Орошаемая площадь всего мира достигает значительных размеров и исчисляется грубо в 43 000 000 га, или в 430 000 км².

По отдельным странам и государствам эта площадь распределяется следующим образом ¹⁾:

Т А Б Л И Ц А 108.

С т р а н а	Орошаемая площадь	
	тысяч га	‰
Франция	2 428	5,7
Индия	17 860	41,6
Италия	1 400	3,2
СССР	3 172	7,4
Ява	1 210	2,8
Египет	2 368	5,5
Япония	2 886	6,7
Австралия	182	} 0,9
Канада	162	
Гавай	81	
Аргентина	405	} 1,6
Перу	259	
Сиап	708	
С.-А. Соед. Шт.	7 766	18,1
Прочие	2 044	4,8
Всего	42 931	100,0

¹⁾ Н. И. Хрусталеv. Очерк развития ирригации в С.-А. С. Шт. „Вестник ирригации за 1924 г.“ № 8, стр. 4 — с нашими исправлениями.

Следовательно по отдельным частям света (отнеся последнюю цифру предыдущей таблицы поровну к Америке и Азии, а из орошаемой площади СССР отнеся 22 000 га к Европейской части СССР) орошаемая площадь распределится следующим образом:

ТАБЛИЦА 109.

Часть света	Орошаемая площадь	
	Тысяч га	%/о
Европа	3 850	8,9
Азия	26 836	62,5
Африка	3 390	7,9
Северн. Америка	8 009	18,7
Южн. Америка	664	} 2,0
Австралия и Полинезия	182	
Итого	42 931	100,0

Б. Данные об орошаемой площади С. Шт. Америки, Египта и Индии.

За отсутствием подробных данных о характере орошаемой площади во многих странах, охарактеризуем более подробно орошаемую площадь Индии, Египта и Сев.-Амер. С. Шт., где находится 27 994 000 га орошаемой площади, или около 65% орошаемой площади всего мира.

С.-А. Соединенные Штаты¹⁾.

Данные, приводимые в указанной работе инж. Н. И. Хрустальевым, получены от Статистического Бюро С.-А. С. Шт. и относятся к переписи 1919 года. По отдельным штатам орошаемая площадь распределяется следующим образом:

¹⁾ Н. И. Хрустальев. Указанная работа №№ 8 и 9, стр. 10 и стр. 8.

ТАБЛИЦА 110.

Ш т а г	Орошаемая площ.		Ш т а т	Орошаемая площ.	
	га	%/о/о		га	%/о/о
Аризона	189 210	2,4	Н. Мексика	217 865	2,8
Арканзас	58 255	0,8	С. Дакота	4 885	0,1
Калифорния	1 707 323	21,9	Оклахома	1 201	0,1
Колорадо	1 354 995	17,4	Орегон	399 071	5,1
Айдахо	1 007 147	13,0	Ю. Дакота	40 743	0,5
Канзас	19 146	0,2	Тексас	237 185	3,1
Луизиана	184 077	2,4	Юта	555 067	7,1
С. Монтана	680 547	8,8	Вашингтон	214 434	2,8
Небраска	179 143	2,3	Вайоминг	488 835	6,3
Невада	227 201	2,9	Итого	7 766 330	100,0

Из этого количества в штатах с сухим климатом сосредоточено 94,3% всей орошаемой площади.

По характеру питания оросительных систем вся орошаемая площадь делится следующим образом:

ТАБЛИЦА 111.

Источник орошения	Площадь в га	%/о/о
Реки	6 455 783	83,1
Грунтовые воды	632 458	8,1
Озера	55 188	0,7
Сток	40 011	0,5
Водоснабжение	376	0,1
Смешанные	172 947	2,2
Прочие	408 624	5,3
Итого	7 766 330	100,0

Таким образом преимущественно для орошения используются воды из реки, хотя за последнее десятилетие использование грунтовых вод для целей орошения увеличилось почти в два с половиной раза (с 256 464 га до 552 230 га), рост же орошаемой площади, для которой используются воды из рек, значительно медленнее. Процент площади, орошаемой из реки, уменьшился с 92,7% до 83,1%.

Такова характеристика орошения в Северо-Американских Соединенных Штатах.

И н д и я ¹⁾.

Данные, приводимые ниже, относятся к 1901 году и составлены на основании работ Индийской Ирригационной Комиссии. Данные относятся к двум территориям:

- 1) к английской территории и
- 2) к национальным государствам.

Размер орошаемой площади в Индии (занимающей до 42% мировой орошаемой площади) приводится в следующей таблице:

А. Английская территория.

Т А Б Л И Ц А 112.

П р о в и н ц и я	П л о щ а д ь		
	Култ.	О р о ш а е м.	
		га	%/о
Пенджаб	11 423 835	4 224 150	37,0
Бомбей	9 852 435	436 185	4,4
Синд	1 345 815	1 183 815	88,0
Мадрасск	14 812 470	4 265 460	28,8
Центральн.	6 809 650	283 500	4,2
Бенгалия	25 783 920	2 571 345	9,9
Соединенная	16 639 830	4 477 275	26,9
Верхняя Бирма	1 889 730	335 340	17,7
Белуджистан	—	2 025	—
Аджем-Мервара	157 140	57 510	36,6
Бирар	2 762 100	22 680	0,8
Курдж	78 975	405	0,5
Итого	91 555 920	17 859 690	19,5

¹⁾ С. Ф. Островский. Указанная работа, стр. 19—20—21—22.

Что касается орошаемых земель в национальных государствах, то сведения о них недостаточно полны и точны. По данным Ирригационной Комиссии, на 1901 год числилось в национальных государствах следующее количество орошаемой площади:

Б. Национальные государства.

ТАБЛИЦА 113.

Государство	П л о щ а д ь		
	Культ.	О р о ш а е м.	
		га	%/о
Барода	1 032 750	74 520	7,2
Гайдарабад	6 480 000	312 660	4,8
Майссур	2 483 460	382 725	15,4
Централн. Индия	4 320 540	240 975	15,4
Раджпутани	2 628 855	474 660	18,1
Мадрасс	441 450	253 125	57,3
Бомбей	905 895	390 015	43,0
Соедин. Пров. мелк. государ. . .	162 810	15 795	9,7
Пенджаб	1 711 125	792 990	46,3
Централн. Пров.	870 750	63 585	7,3
Бенгалия	500 985	145 935	28,5
Итого	21 538 620	3 147 015	10,9

Следовательно всего в Индии:

- 1) культурных земель — 113 094 540 га, из них
- 2) орошаемых земель — 21 006 705 га, т.е. орошаемые земли составляют 18,6%.

В отношении 17 859 690 га орошаемой земли Ирригационная Комиссия установила источник орошения и источник финансирования при выполнении орошения. Эти данные приведены в следующей таблице:

ТАБЛИЦА 114.

Источник орошения	Орошаемая площадь	
	в га	в ‰ от всей орошаем. пл.
I. За счет государственных средств.		
Реки	6 335 820	35,5
Водохранилища	1 192 320	6,7
Итого	7 528 140	42,2
II. За счет частного капитала.		
Реки	500 175	2,8
Водохранилища	2 103 570	11,8
Колодцы	5 222 475	29,2
Прочие источн. орошен. .	2 505 330	14,0
Итого	10 331 550	57,8
Всего	17 859 690	100,0

В таких цифрах характеризуется орошение в Индии.

* Е г и п е т ¹⁾.

Древнейшее орошение Египта сосредоточивалось до последнего времени исключительно в долине р. Нила. Река Нил и грунтовые воды, подстилающие долину его, являлись единственными источниками орошения. Египет являет собой пример, единственный в оросительном деле, полного использования земель под орошение. 70% всей поверхности Египта использованы под орошение, при чем орошаемая площадь составляет 90% от площади земель, могущих быть использованными под культуру. Данные о размере орошаемой площади относятся к 1904 году. Вся орошаемая площадь делится на две неравные части:

¹⁾ Ж. Барруа. Ирригация в Египте.

1. Площадь, орошаемую бассейнами затопления и расположенную, главным образом, в среднем Египте по левому берегу Нила.

2. Площадь, орошаемую правильным орошением и расположенную по преимуществу в дельте Нила (нижний Египет).

Распределение площадей следующее:

Т А Б Л И Ц А 115.

Р а й о н	Орошаемая площ. в га	
	Бассейн затопл.	Прав. орош.
Нижний Египет	—	1 289 000
Средний „	635 900	270 000
Провинц. Файум	—	173 400
Итого	635 900	1 732 400

В это число входит и площадь, орошаемая всякого рода насосными установками, при чем размер этой площади приблизительно равен 200 000 га.

Распределение насосных и других подоподъемных установок следующее:

Т А Б Л И Ц А 116.

Р а й о н	Паровые насосы		Нории, тимпаны и различн. колеса
	Число	Мощн. в HP	
Нижний Египет	3 777	18 050	80 160
Верхн. и Средн. Египет	189	2 500	23 195
Файум	9	60	1 050
Итого	3 975	20 610	104 855

В таких чертах характеризуется орошение Египта.

Приложение 1.

ТАБЛИЦА 98.

Материалы, получаемые в результате изысканий, и необходимые технические документы, прилагаемые к проекту оросительной системы.

Данные, получаемые в результате изысканий	В каком виде должны быть результаты изысканий	Какие документы прилагаются к проекту
<p>Климатологи- ческие . . .</p>	<p>Изыскания непосредственно не ведутся — чаще всего пользуются показаниями окружающих метеорологических станций.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Кривая средних и предельных ежемесячных сумм осадков за период. 2) Интеграционная кривая осадков за средн. минимальный и максимальный год. 3) Кривые ежемесячных средн., абсолютного максимума и минимума температуры за период. 4) Кривые ежемесячных средн., минимальн. и максимальн. влажности воздуха за период. 5) Кривые средних и предельных ежемесячн. сумм испарения за период. 6) Интеграционная кривая испарения за средн. миним. и максим. годы периода. 7) Кривые облачности в ‰ средн., минимальн. и максимальн. по месяцам периода. 8) Роза ветров. 9) Общий климатический очерк района расположения площади командования.

Данные, полученные в результате изысканий	В каком виде должны быть результаты изысканий	Какие документы прилагаются к проекту
Сельскохозяйственно-экономические	Изыскания непосредственно не ведутся — пользуются имеющимися материалами для областей, смежных с площадью командования.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Диаграммы доходности различных типов хозяйств. 2) Диаграммы нескольких вариантов севооборотов для условий площади командования. 3) Диаграммы потребного труда, живого и мертвого инвентаря для выбранных типов хозяйств и севооборота. 4) Диаграммы рентабельности выбранных вариантов хозяйства и севооборота. 5) Диаграмма фаз развития культур, входящих в севооборот. 6) Диаграммы сроков работ для отдельных культур севооборота. 7) Общий экономический очерк площади командования, в котором описаны основы выбора хозяйства, севооборота, рентабельности хозяйства, организационных вопросов.
Гидрёмодульные	Исследований непосредственно не ведется — пользуются или данными опытных учреждений или наблюдений над существующими рациональными орошаемыми хозяйствами.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Графики потребности в воде для различных вариантов (укомплектования, укомплектования). 2) Диаграммы водоснабжения. 3) Поливная кривая, составленная с графиком гидроработ и диаграммами водоснабжения. 4) Пояснительная записка к вопросам выбора вариантов, подсчета коэффициента полезного действия, основы водооборота.

В каком виде должны быть результаты изысканий	Какие документы прилагаются к проекту
1) План в горизонталях площади командования. 2) Продольные нивелировочные профили тальвегов. 3) Ведомость реперов площади командования.	1) План в горизонталях с нанесением трасс оросительной, сбросной и дорожной сетей. 2) Продольные профили главных (до междоколотовых) каналов оросительной и сбросной сетей и типовые профили околотовых и наделных распределителей и каналов сбросной сети. 3) Планы наиболее типичных наделов с показанием распределителей и регулирующей сети, полей севооборота. 4) В случае беспокойного рельефа — планы типичных околотов с показанием околотовой и надельной распределительной и сбросной сетей и всех сооружений на них. 5) Ведомость земляных работ для всей оросительной и сбросной сетей.
1) Ведомость показания гидрометрического поста о колебаниях уровня за годы периода. 2) Ведомость определений расходов по годам периода. 3) Кривые (ежемесячные) распределения скоростей по живому сечению. 4) Кривые объемов и зеркал естественных и искусственных замкнутых водоемов. 5) Кривые колебания горизонта грунтовых вод. 6) Кривые колебания содержания наносов в источнике орошения. 7) Кривые колебания плотного остатка извести, азотистых соединений, калия и фосфорной кислоты для средн. года периода наблюдений. 8) Диаграмма изменения дна источника орошения в месте расположения водомерного поста.	1) Кривая среднего, миним. и максим. горизонта источника орошения. 2) Кривая режима для среднего года, меженного года и года наибольшей водоисп.ости. 3) Диаграмма потребности в водохранилище (по В. В. Чикову, Н. В. Мостицкому или другим авторам). 4) Среднее распределение скоростей по живому сечению по отдельным месяцам среднего года у головного сооружения. 5) Диаграмма среднего дна у головного сооружения. 6) Кривые п.п. 4, 5, 6, 7 из результатов изысканий. 7) Объяснительная записка к гидрологическим материалам с сопоставлением режима источника орошения с потребной поливной кривой головного сооружения, с характеристикой химического состава, взвешенных наносов источника орошения, с описанием водоемов и грунтовых вод.

Данные, полученные в результате изысканий	В каком виде должны быть результаты изысканий	Какие документы прилагаются к проекту
Геологические .	<ol style="list-style-type: none"> 1) Геологическая карта площади командования с показанием детальной геологической характеристики мест расположения крупных гидротехнических сооружений и карьеров строительных материалов. 2) Карта грунтовых вод площади командования. 3) Ряд характерных геологических профилей. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Геологическая карта. 2) Детальные геологические карты мест расположения крупных гидротехнических сооружений. 3) Детальные геологические карты мест выработки строительных материалов. 4) Карта горизонтальных вод. 5) Общий гидрогеологический очерк площади командования.
Почвенно-ботанические .	<ol style="list-style-type: none"> 1) Почвенная карта. 2) Карта растительных сообществ. 3) Гербарий флоры площади командования. 4) Ведомость механического состава, химических и физических свойств почв. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Почвенная карта. 2) Ряд типичных профилей почв. 3) Общий геоботанический очерк площади командования с установлением генезиса и морфологии почв, с определением мест засоления и причин, увеличивающих таковое.

Таблицы для перевода мер.

ТАБЛИЦА 117.

Дюймы в миллиметрах и обратно.

Дюймы в мм		Дюймы в мм		Миллиметры в дюймы		Миллиметры в дюймы	
дюймы	мм	дюймы	мм	мм	дюймы	мм	дюймы
$\frac{1}{8}$	1,588	3	76,2	1	0,04	8	0,31
$\frac{1}{4}$	3,175	4	101,6	2	0,08	9	0,35
$\frac{3}{8}$	6,350	5	127,0	3	0,12	10	0,39
$\frac{1}{2}$	12,700	6	152,4	4	0,16	11	0,43
1	25,4	7	177,8	5	0,20	12	0,47
2	50,8	8	203,2	6	0,24	13	0,51
—	—	9	228,9	7	0,28	14	0,55
—	—	—	—	—	—	15	0,59

ТАБЛИЦА 118.

Футы в метрах и обратно.

Футы в метрах		Футы в метрах		Метры в футах		Метры в футах	
футы	м	футы	м	м	футы и дюймы	м	футы и дюймы
1	0,305	7	2,134	1	3'3,4"	7	21'11,6"
2	0,610	8	2,438	2	6'6,7"	8	26'3,0"
3	0,914	9	2,743	3	9'10,1"	9	29'6,3"
4	1,219	10	3,048	4	13'1,5"	10	32'9,7"
5	1,524	—	—	5	16'4,9"	—	—
6	1,829	—	—	6	19'8,2"	—	—

Т А Б Л И Ц А 119.

Сажени в метрах и обратно.

Саж. в м		Саж. в м		Саж. в м		м в саж.		м в саж.		м в саж.	
саж.	м	саж.	м	саж.	м	м	саж.	м	саж.	м	саж.
1	2,134	7	14,935	25	53,340	1	0,469	7	3,281	25	11,711
2	4,267	8	17,069	30	64,008	2	0,937	8	3,750	30	14,061
3	6,401	9	19,202	35	74,676	3	1,406	9	4,218	35	16,404
4	8,534	10	21,336	40	85,344	4	1,875	10	4,687	40	18,748
5	10,668	15	32,004	45	96,012	5	2,343	15	7,030	45	21,091
6	12,802	20	42,672	50	106,680	6	2,812	20	9,374	50	23,435

Т А Б Л И Ц А 120.

Вершки в сантиметрах и обратно.

Вершки в см		Вершки в см		мм в вершк.		см в вершк.	
вершк.	см	вершк.	см	мм	вершк.	см	вершк.
1	4,445	9	40,005	1	0,0224	1	0,2245
2	8,890	10	44,450	2	0,0449	2	0,4490
3	13,335	11	48,895	3	0,0673	3	0,6730
4	17,780	12	53,340	4	0,0897	4	0,898
5	22,225	13	57,785	5	0,1121	5	1,123
6	26,670	14	62,230	6	0,1346	6	1,346
7	31,115	15	66,675	7	0,1571	7	1,571
8	35,560	16	71,120	8	0,1796	8	1,796
—	—	—	—	9	0,2021	9	2,020
—	—	—	—	10	0,2452	10	2,240

ТАБЛИЦА 121.

Сотые сажени в миллиметрах и сантиметрах и обратно.

Сотки в мм и см		Сотки в мм и см		мм и см в сотки		мм и см в сотки	
СОТКИ	мм и см	СОТКИ	мм и см	мм и см	СОТКИ	мм и см	СОТКИ
0,1	2,1 —	1,0	— 2,31	1 —	0,05	— 1	0,47
0,2	4,3 —	2,0	— 4,27	2 —	0,09	— 2	0,94
0,3	6,4 —	3,0	— 6,40	3 —	0,14	— 3	1,41
0,4	8,5 —	4,0	— 8,53	4 —	0,19	— 4	1,88
0,5	10,7 —	5,0	— 10,67	5 —	0,23	— 5	2,30
0,6	12,8 —	6,0	— 12,80	6 —	0,28	— 6	2,80
0,7	14,9 —	7,0	— 14,93	7 —	0,33	— 7	3,30
0,8	17,1 —	8,0	— 17,07	8 —	0,38	— 8	3,80
0,9	19,2 —	9,0	— 19,20	9 —	0,42	— 9	4,20

ТАБЛИЦА 122.

Сравнительная таблица мер.

О б ъ е м н ы е					
Саж. ³	Метр. ³	Фут. ³	Вершк. ³	Дюйм. ³	Соток ³
1	9,712	243	110 592	592 704	1 000 000
0,103	1	35,32	11 387	61 027,1	103 761,7
0,0029	0,028	1	322,8	2 924,2	2 924,2
0,000009	0,00009	0,0013	1	2,3	8,999
0,000002	0,00002	0,0006	0,186	1	1,728
0,000001	0,00001	0,0003	0,111	0,593	1

ТАБЛИЦА 123.

Сравнительная таблица длин.

Саж.	м	Фут.	Дюйм.	Вершк.	Соток
1	2,134	7,0	84,0	48,0	100,0
0,469	1	3,283	39,4	22,5	46,9
0,143	0,305	1	12,0	6,86	14,3
0,012	0,025	0,083	1	0,571	1,2
0,021	0,044	0,146	1,75	1	2,1
0,01	0,023	0,07	0,84	0,48	1

Меры площадей.

1 десятина = 2 400 кв. с. = 1,09 га = 10 900 м² = 117 600 фут.²
 1 гектар = 0,915 дес. = 2 196 кв. с. = 10 000 м² = 107 604 фут.²

Меры веса.

1 пуд = 16,38 кг = 40 фунт. = 3 840 зол. = 16 380 л.
 1 кг = 2,44 фунта = 0,061 пуд. = 234,4 зол. = 1 000 л.

Въ верхнемъ отдѣлѣ, заключающемъ около 3200 акровъ, вода измѣряется черезъ ящики для рудокопныхъ дюймовъ, согласно съ правами на воду по договорамъ, сдѣланнымъ много лѣтъ назадъ до перехода канала къ Reclamation Service. Эти ящики имѣютъ отверстія въ 2 дюйма высотой, и со стороны противоположной отверстіямъ имѣютъ сливную стѣнку такой высоты, чтобы поддерживать уровень на 6 дюймовъ выше верха отверстія. По всей остальной системѣ въ головахъ распредѣлителей, а также въ пунктахъ отводовъ къ

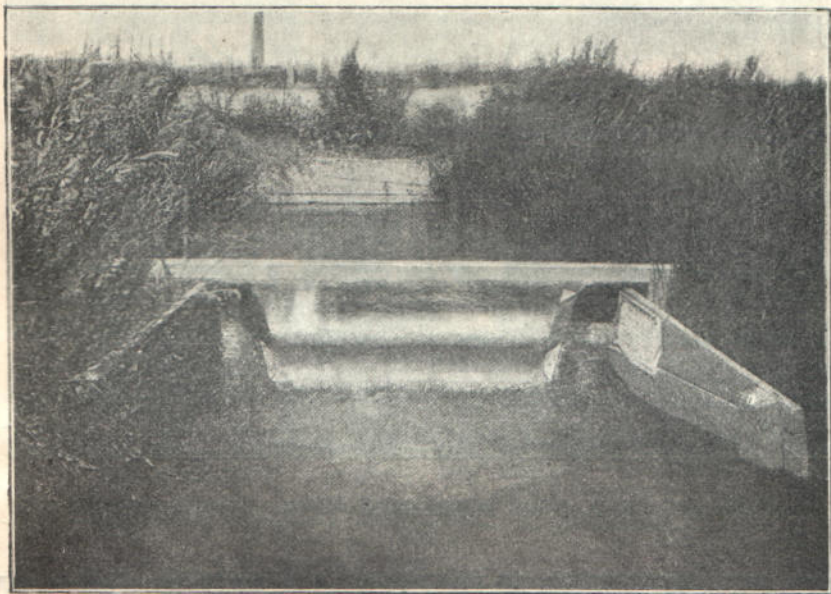


Рис. № 8.

оросителямъ установлены тщательно изготовленные водосливы Чиполлетти. Хотя Reclam. Service сооружаетъ и поддерживаетъ распредѣлители съ пропускной способностью въ 20 и болѣе куб. фут. въ секунду, оно устраиваетъ всюду водосливы. Водосливъ въ 1 футъ въ общемъ обходится около 12 дол., а другіе, — пропорціонально этому. Каждый распредѣлитель занумерованъ согласно разстоянію отъ головы канала, при чемъ номеръ обозначаетъ разстояніе въ миляхъ.

Водосливы на распредѣлителяхъ занумеровываются послѣдовательно, начиная сверху. Рис. 8 изображаетъ водосливъ Чиполлетти въ головѣ одного изъ распредѣлителей, а рис. 9 водосливъ № 2 на томъ же самомъ отвлѣченіи съ дѣлительнымъ ящикомъ и регули-

рующимъ щитомъ. Водосливы устанавливаются тщательно, для точности замѣра гребни и бока обиты цинкомъ такъ, чтобы получить острые края. Главные щиты на распредѣлителяхъ и при водосливахъ фермеровъ держатся на замкахъ, и отъ нихъ никто не имѣетъ ключей,

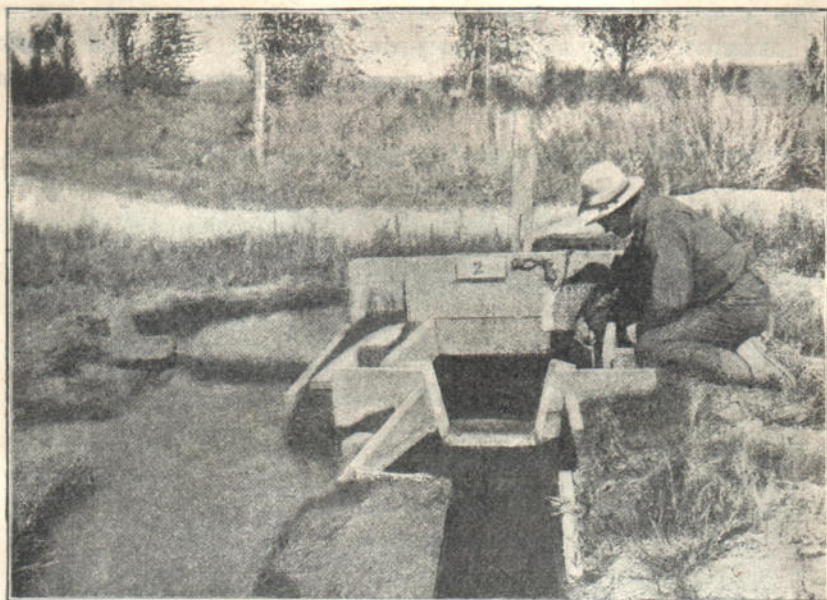


Рис. № 9.

кромѣ лицъ, причастныхъ къ распредѣленію и замѣрамъ. Гребни водосливовъ въ верхахъ отвлѣченій различной длины—отъ 1 до 9 фут., а гребни частныхъ водосливовъ длиной отъ 6 дюймовъ до 2 футовъ.

Отчетность.

Ни одна изъ системъ, описанныхъ въ этомъ бюллетенѣ, не снабжена такъ полно формами для веденія отчетовъ, какъ канала Sunnyside. Каждый сторожъ снабженъ дневникомъ для записи произведенной работы, планомъ своего отдѣла, спискомъ оросителей съ обозначеніемъ площадей каждаго владѣнія, водосливными таблицами и формами для еженедѣльных отчетовъ о протекшей водѣ. Водосливныя таблицы указываютъ количество воды, приходящееся на владѣнія разныхъ размѣровъ, сторожа должны лишь поддерживать соответствующій потокъ черезъ водосливы,—дѣло сравнительно простое послѣ того, какъ щиты

установлены и заперты. Эти ежедневныя записи не даютъ количествъ воды, протекшихъ къ каждому водопользователю, а количества, протекшія черезъ главный шить распредѣлителя, идущаго отъ магистрали. Послѣ того какъ сторожа занесли въ еженедѣльные отчетныя карточки количества воды, прошедшей черезъ каждый измѣрительный постъ и въ каждый распредѣлитель въ своихъ отдѣлахъ, отчеты сообщаются по телефону въ контору и заносятся въ большой листъ отчетнымъ конторщикомъ. Имѣется листъ на каждый день, на которомъ имѣется мѣсто для записи потока вверху и внизу каждаго отдѣла и времени замѣра сторожами, также для тѣхъ же данныхъ каждаго распредѣлителя изъ магистрали.

Записываются количества, несомыя различными отвѣтвленіями, количества воды, дѣйствительно использованной, сброшенной и потери отъ просачиванія и испаренія. Разница между водой, поступавшей въ каждый отдѣлъ и водой распредѣленной по отвѣтвленіямъ или сброшенной въ нижнихъ частяхъ ихъ, записывается въ графѣ потерь на просачиваніе и испареніе, такимъ образомъ уничтожаются погрѣшности измѣренія. Въ системѣ Truckee-Carson, въ Невадѣ, эти потери обозначаются болѣе точнымъ терминомъ, „невидимыхъ потерь“. Изъ листовъ для ежедневныхъ записей конторщикъ составляетъ ежедневные, еженедѣльные и ежемѣсячные отчеты по той же самой формѣ, и они составляютъ полный отчетъ о раздачѣ воды при ежемѣсячныхъ донесеніяхъ завѣдывающаго директору Reclamation Service въ Вашингтонѣ. Форма ежедневнаго отчета приводится ниже. (См. стр. 340).

Система Truckee-Carson.

Система Truckee-Carson, первая изъ осуществленныхъ проектовъ, открытая къ заселенію, находится въ Carson Sink Valley въ западной Невадѣ, и при современномъ состояніи покрываетъ площадь въ 100000 акровъ годной для обработки земли, начавшей засѣляться въ 1906 г. Весной 1908 г. вода раздавалась 225 оросителямъ, а въ іюнѣ слѣдующаго года обратились за водой 322 оросителя, изъ которыхъ 100 собственниковъ земли, и которые пользуются исключительными правами въ системѣ по соглашенію съ Reclamation Serv. Остальные заявители состояли арендаторами на казенной землѣ системы; арендовавшаяся ими площадь была около 25000 акровъ. Главная культура—люцерна, хотя большая часть дѣйствительно орошаемой площади къ этому времени была подъ лугами.

Современная система распредѣленія воды разработана тщательно и подробно, и можетъ дать много цѣнныхъ данныхъ.

Форма, примѣняемая Reclamation Service, для ежедневнаго учета воды на системѣ Sunnyside.

Department of the Interior United States Reclamation Service Sunnyside Operating Departament.

Учетъ воды за день.

№ участка воды.	Фамилиі сторожей.	№ поста въ ми- ляхъ.	Высота плужа.	Время.	К. Ф. С.	Использовано воды.	Отпущено воды черезъ водослѣвы	Обросъ Zillah.	Обросъ Sunnyside.	Обросъ Prosser.	Потери на проса- чив. и испарен.	Всего акро-футовъ.	Орошено акровъ.	Акро-фут. на акръ.	Примѣчаніе.
1		{ 0 8													
2		{ 8 17													
3		{ 17 25													
4		{ 25 30													
5		{ 30 38													
	
	Итого . .														

Въ то время, когда система Truckee-Carson открылась къ заселе- нію, каналы и отвѣтвленія были оборудованы практически на обслужи- ваніе площади въ 100.000 акровъ. Эти каналы и отвѣтвленія имѣютъ приблизительно 500 миль протяженія, изъ которыхъ 85 миль магистрали, 290 миль главныхъ развѣтвленій и 125 миль дренажныхъ канавъ. Инже- неръ въ началѣ былъ поставленъ лицомъ къ лицу съ громадной ра- ботой,—выработать систему распределенія воды на много миль канала арендаторамъ, разбросаннымъ на площади свыше 100.000 акровъ. Работа была облегчена нѣсколько сокращеніемъ площадей, открытыхъ къ заселенію на сравнительно небольшомъ пространствѣ, главнымъ образомъ, вблизи новаго города Фаллона, который является центромъ системы. Максимальное количество воды, отводимой въ магистраль при Карсонской плотинѣ—625 куб. фут. въ секунду. Около 15 августа

расходъ падаетъ до 400 куб. фут. въ секунду, а около 1 ноября вода отводится изъ канала. Каждый водопользователь по договору съ Reclamation Service имѣетъ право на 3 акро-фута воды на акръ въ годъ. Практически система допускаетъ имѣть воду по надобности въ продолженіе 24 часовъ или пропорціонально этому времени, но предполагается, что дѣйствительный договоръ на 3 акро-фута на акръ будетъ точно выполняться. Дѣйствительно, инженеръ системы, въ ближайшемъ будущемъ, думаетъ установить этотъ предѣлъ даже въ томъ случаѣ, если бы воды оказалось въ наличности больше, чѣмъ ея требуется для удовлетворенія этого количества; его идея заключается въ томъ, что весьма желательно ограничить пользованіе водой дѣйствительными въ ней нуждами. Когда каналы и отвѣтвленія системы сооружались, предполагалось, что каналъ и его вѣтви будутъ постоянно содержать воду, что развѣтвленія перваго и втораго порядковъ будутъ нести воду 20 дней въ каждомъ мѣсяцѣ, и что отвѣтвленія третьяго порядка будутъ нести воду 10 дней каждаго мѣсяца. Будутъ ли этого плана придерживаться въ дѣйствительности, рѣшить опытъ.

Распредѣленіе воды.

Инженеръ системы организовалъ довольно широкій планъ распредѣленія воды и посвящаетъ свое вниманіе деталямъ распредѣленія, насколько возможно въ связи съ другими обязанностями. Подъ его руководствомъ состоитъ наблюдающій за водой, который имѣетъ контору и соединенъ телефономъ со всѣми пунктами системы. Одинъ помощникъ работаетъ въ конторѣ или въ полѣ, смотря по надобности. Въ вѣдѣніи наблюдающаго за водой имѣется 15 наблюдателей канавъ и 2 наблюдателя впусковъ, всѣ назначаются съ жалованіемъ 75—85 дол. въ мѣсяцъ. Инструкціи отпечатаны, и отъ каждаго служащаго требуется сообразоваться съ ними во всѣхъ подробностяхъ. Инженеръ системы въ началѣ не думалъ объ изданіи всякихъ печатныхъ инструкцій, зная, что при столь большой системѣ ихъ придется постоянно измѣнять въ деталяхъ такъ, чтобы сообразоваться съ случайностями, но онъ нашелъ возможнымъ издать такіа инструкціи въ 1908 г., хотя и предполагаетъ пересматривать ихъ время отъ времени для согласованія съ условіями. Выдержки изъ этихъ инструкцій изложены ниже.

Инструкціи для служащихъ.

1) Ирригаціонный періодъ на системѣ Truckee-Carson продолжается съ 1 апрѣля по 31 октября. Вода ни въ какое другое время года не отпускается, или же отпускается по распоряженіямъ наблюдающаго за водой.

3) *Распределение.*

а) Вода может отпускаться только для орошения, на другія надобности съ особаго разрѣшенія инженера системы.

б) Распределение воды—одна изъ важнѣйшихъ обязанностей наблюдателей, и аккуратность, съ какими эта работа исполняется, въ сильной степени вліяютъ на правильность теченія воды въ каналахъ. Наблюдатели при щитахъ должны держать потокъ воды въ каналахъ постояннымъ. Ненадежныя мѣста должны осматриваться каждое утро и вечеръ, и если они окажутся въ такихъ условіяхъ, что требуютъ ремонта, извѣщать немедленно наблюдающаго за водой. Брать воду изъ канала въ отвѣтвленія перваго порядка нужно черезъ затопленные отверстія, при этомъ количество воды, поступающей въ отвѣтвленія, будетъ болѣе постояннымъ, нежели въ томъ случаѣ, если бы вода пропускалась черезъ водосливы. Содержать эти отверстія свободными отъ сорныхъ травъ и др.

в) Потребители воды обязаны извѣщать за 24 часа до времени, въ которое требуется вода. Они должны указывать количество воды и желательную продолжительность протеканія ея. Наблюдатели канавъ должны отпускать воду возможно скоро по увѣдомленіи. Если не сдѣлано увѣдомленіе за 24 часа, вода будетъ закрываться во время, указанное въ первоначальномъ требованіи ея.

г) Со щитами и отводами на системѣ могутъ оперировать только наблюдатели. Всѣ щиты по возможности должны запираются на замки, дабы воспрепятствовать поднятію или опусканію ихъ лицами не уполномоченными.

д) За водой, поступающей на ферму, долженъ смотрѣть владѣлецъ во все время протеканія ея. Потокъ не долженъ быть уменьшаемъ по ночамъ. Фермеры должны слѣдить за водой и днемъ и ночью.

е) Дренажныя канавы не могутъ быть употребляемы въ качествѣ сбросныхъ, исключая крайнихъ случаевъ. За сбросной водой обязаны слѣдить на фермѣ, и, если сбросная вода въ какомъ-нибудь количествѣ вытекаетъ изъ предѣловъ фермы, то количество воды, поступающей на ферму, должно быть соответственно уменьшено наблюдателемъ. Всякое поврежденіе, произведенное сбросной водой, при поступленіи въ дренажныя канавы должно быть немедленно исправлено лицами виновными въ поврежденіи. Наблюдатели о такомъ поврежденіи обязаны увѣдомлять контору.

Неисправленіе поврежденія этого рода влечетъ отказъ въ водѣ хозяйству до исправленія поврежденія.

ж) Высшій горизонтъ воды наносится на всѣхъ устройствахъ системы, и послѣ того, какъ это достигнуто, завѣдывающему водой или инженеру доносится для свѣдѣнія о высшихъ горизонтахъ въ различ-

ныхъ каналахъ. Никогда и ни въ какомъ случаѣ вода не можетъ быть поднимаема выше высшей линіи назначеннаго горизонта.

h) Необходимо регулировать скорость теченія воды во избѣжаніе размыва береговъ. Скорость можетъ быть уменьшаема подпоромъ воды внизу. Нужно держать воду всегда на желательной высотѣ во время распределенія ея для орошенія.

4) *Отчеты.*— Требуется вести точную запись отпущенной воды и представлять таковую ежедневно въ контору, и для этого пользоваться карточками, чтобы указать точныя количества протекающей воды.

a) Сообщенія по телефону наблюдателями канавъ и шлюзовъ должны производиться въ сроки, указанные наблюдающимъ за водой. По меньшей мѣрѣ требуется давать по одному свѣдѣнію въ день. Если наблюдатель ко времени сообщенія предполагаетъ отсутствовать, необходимо предварительное соглашеніе съ завѣдывающимъ водой. Въ случаѣ не доставленія безъ удовлетворительной причины дневного свѣдѣнія наблюдатель будетъ оштрафованъ въ размѣрѣ платы за одинъ день.

b) Наблюдатели канавъ и шлюзовъ обязаны доставлять инженеру письменныя сообщенія 25 числа cadaго мѣсяца. Они должны сообщать:

I) О промывахъ въ каналахъ и о другихъ нарушеніяхъ обусловливающихъ промедленіе въ распределеніи воды.

II) Объ истребленіи грызуновъ.

III) О всѣхъ заслуживающихъ вниманія случаяхъ, относящихся къ распределенію воды.

c) Каждый служащій долженъ заполнять карточки, показывающія родъ работы за каждый день. Эти карточки должны отсылаться въ концѣ cadaго мѣсяца.

d) Однажды въ годъ, въ концѣ ирригаціоннаго періода, необходимо произвести перепись земледѣльцевъ. Къ этому времени будутъ присылаться бланки съ инструкціями. Необходимо въ теченіе лѣта держаться въ курсѣ хозяйства каждой фермы. Это сдѣлаетъ работу при производствѣ переписи болѣе легкой.

e) При производствѣ переписи и еще разъ около 1 мая долженъ производиться подворный осмотръ.

5. *Текущая работа.*— Слѣдуетъ установить опредѣленный маршрутъ при объѣздѣ района и стремиться посѣщать каждый выпускъ въ одно и тоже время cadaго дня, производить случайные обходы для провѣрки положенія щитовъ и впусковъ, такимъ путемъ можно ловить воровъ воды.

a) Въ случаѣ размыва на какомъ-либо изъ казенныхъ каналовъ немедленно сообщать въ Центральную контору по телефону, а также и письменно.

б) При объѣздахъ телефонной линіи, принадлежащей О-ву, нужно слѣдить за состояніемъ ея. О разорванныхъ проволокахъ слѣдуетъ сообщать и, въ случаѣ обнаруженія поврежденій въ линіяхъ, немедленно исправлять ихъ.

в) слѣдуетъ очищать отъ сорныхъ травъ оросительныя и дренажныя каналы.

г) Осматривайте всѣ устройства, мосты, наличники и впуски, какъ деревянныя, такъ и бетонныя по крайней мѣрѣ однажды въ день или при каждомъ обходѣ ихъ. Немедленно сообщайте о необходимомъ ремонтѣ.

д) Всѣ поднимающіеся водосливы и шлюзы должны быть хорошо смазаны для легкости операций съ ними.

е) Мосты должны быть расположены въ удобныхъ мѣстахъ, и каналы не могутъ быть пересѣкаемы въ другихъ мѣстахъ. Маленькія каналы можно переѣзжать вбродъ въ мѣстахъ, разрѣшенныхъ инженеромъ. Никакихъ разрѣшеній на открытіе брода не будетъ выдаваться, исключая мѣстъ, гдѣ физическія условія таковы, что бродъ не можетъ причинять опасности собственности Соединенныхъ Штатовъ.

ж) Никакихъ мостовъ, подземныхъ стоковъ для воды и ящиковъ, загоронокъ или другихъ устройствъ не разрѣшается ставить на каналахъ безъ письменнаго разрѣшенія инженера, и если наблюдатели каналовъ замѣтятъ, что къ такимъ работамъ приступаютъ, они должны потребовать письменное разрѣшеніе и, въ случаѣ отсутствія такового, работы остановить.

з) Дѣти могутъ допускаться къ каналамъ только въ сопровожденіи взрослыхъ. Купаться въ большихъ каналахъ опасно и объ этомъ всѣ должны быть предупреждены. Купанье скотины въ каналахъ не разрѣшается.

Наблюдающій за водой призываетъ всѣхъ наблюдателей каналовъ каждое утро въ 6 час. 30 мин. и получаетъ отъ нихъ замѣры расходовъ и въ свою очередь передаетъ имъ ордера относительно распределенія воды. Когда оказывается недостатокъ въ водѣ, завѣдывающій даетъ каждому наблюдателю указанія о количествѣ воды, полагающейся на каждое отвлѣченіе. Если нужно, то завѣдывающій призываетъ наблюдателей и ночью. Фактически онъ сидитъ все время въ конторѣ, получаетъ отъ наблюдателей свѣдѣнія и даетъ имъ инструкціи. Предполагается учредить должность инспектора, который долженъ быть все время на системѣ и сообщать инженеру не только относительно распределенія воды по каналу, но также относительно содержанія его, для чего будетъ содержаться совершенно отдѣльный штатъ. Каждый наблюдатель каналовъ въ настоящее время въ среднемъ объѣзжаетъ ежедневно 30

милъ, и ему вѣнено въ обязанность обѣзжать весь свой районъ по возможности каждый день или по меньшей мѣрѣ черезъ день.

Измѣренія воды.

Инженеръ системы считаясь съ большою важною замѣровъ воды, производить много ихъ и составляетъ отчеты о нихъ. Производятся слѣдующія измѣренія воды:

1) Производятся дважды въ день отсчеты по рейкамъ при плотинѣ въ Truckee Lake, въ головѣ канала Truckee и при *Карсонской плотинѣ*. Эти отсчеты немедленно, вслѣдъ за производствомъ ихъ, сообщаются по телефону завѣдывающему, а также посылаются въ письменной формѣ въ управленіе. Записи, производимыя наблюдателемъ и отсылаемыя въ контору, показываютъ номеръ отверстій въ плотинѣ, открытыхъ во время замѣра, величину открытія и потокъ воды, проходящій черезъ каждое изъ нихъ; расходъ въ куб. футахъ въ секунду затѣмъ вычисляется въ конторѣ по таблицамъ, исчисленнымъ на основаніи наблюденій по обыкновенной шкалѣ.

2) Измѣренія въ магистральной производятся непосредственно выше впусковъ въ каждое отвлѣченіе перваго порядка. Эти измѣренія производятся только однажды въ день и немедленно сообщаются по телефону завѣдывающему, который заноситъ ихъ въ специально изготовленные бланки. Сообщение каждаго наблюдателя о замѣрахъ въ соответствующемъ районѣ заключается въ слѣдующемъ: обслуживаемые ими каналъ или отвлѣченіе, количество воды, которое онъ получилъ въ куб. футахъ въ секунду, пунктъ замѣра, количество воды, прошедшей мимо внизъ, количество распределенной и потерянной воды.

3) Замѣры въ пунктахъ отпуска воды оросителямъ. — Записи этихъ измѣреній отсылаются ежедневно на карточкахъ съ указаніемъ имени каждаго потребителя, которому вода доставлялась, время пуска и закрытія потока, величину его въ куб. футахъ въ секунду, и число акро-футовъ, (последнее число исчисляется въ конторѣ завѣдывающаго).

Правило № 9 инструкцій разрѣшаетъ вопросъ о замѣрахъ воды такъ: измѣренія воды, проходящей черезъ каналы системы Truckee—Carson, — важная обязанность наблюдателей. Количество воды отпущенной на каждое хозяйство, должно быть извѣстно, дабы можно было выяснитъ количество использованной воды. Права на воду, проданныя Reclamation Service, допускаютъ опредѣленное количество воды на акръ земли, вода должна замѣряться въ отводахъ на фермы.

Для удобства наблюдателей должны быть подсчитаны таблицы для нижеуказанныхъ установокъ, дабы могъ быть произведенъ надлежащій замѣръ при различныхъ условіяхъ.

Могут имѣть мѣсто 4 нижеслѣдующіе способа замѣра.

- a) Замѣръ воды черезъ водосливъ при свободномъ паденіи струи.
- b) Замѣръ воды подъ давленіемъ черезъ свободное отверстіе.
- c) Замѣръ воды подъ давленіемъ черезъ затопленное отверстіе.
- d) Замѣръ воды черезъ затопленный водосливъ.

Хотя невозможно произвести точныхъ замѣровъ черезъ доски при настоящихъ условіяхъ, все-таки результаты могутъ считаться достаточно удовлетворительными при существующемъ избыткѣ воды. Инженеръ находитъ, что лучшіе результаты получаются при замѣрахъ черезъ затопленные отверстія или подъ давленіемъ и по возможности придерживается этихъ способовъ.

Отчеты о замѣрахъ воды ведутся не полнѣе отчетовъ о распределеніи воды, ведущихся въ конторѣ завѣдывающаго. Завѣдывающій ведетъ журналъ, куда онъ записываетъ всѣ отчеты наблюдателей, сообщаемые по телефону. Онъ также получаетъ, провѣряетъ и подбираетъ ежедневные рапорты наблюдателей, указывающіе количества воды, полученной, переданной, потерянной и прошедшей мимо, а также и распределенной между оросителями. Изъ нихъ онъ составляетъ журналъ, показывающій количество воды, переданной каждому оросителю за каждый день мѣсяца, общія количества распределенной воды, сброшенной и невидимыхъ потерь, всего учтенной воды и всего полученной. Послѣднія двѣ графы имѣютъ цѣлю показать величину неточности замѣровъ. Подъ невидимыми потерями разумѣются потери отъ просачиванія, испаренія и неточностей замѣровъ.

Журналъ даетъ возможность выяснитъ въ концѣ года приблизительное количество воды, полученной каждымъ оросителемъ. Онъ цѣненъ, какъ для рѣшенія споровъ съ оросителями, такъ и для указанія приблизительной потребности въ водѣ на системѣ, и, хотя ведутся ежедневныя отчетныя карточки, этотъ журналъ представляетъ полный рабочій отчетъ конторы и слѣдуетъ очень заботиться о томъ, чтобы онъ былъ полнымъ и точнымъ.

На этой системѣ не выясняется отдѣльно стоимость распределенія воды. Персоналу по распределенію вмѣняется также въ обязанность имѣть тщательное наблюденіе и за системой, поддержаніе безпрепятственнаго теченія воды въ каналахъ и отвѣтвленіяхъ, производство текущаго ремонта каналовъ и телефонной линіи, уничтоженіе кротовъ и крысъ, производство переписи земледѣльцевъ и сборъ подворныхъ заявленій. Эти операціи въ 1908 году обошлись около 18000 дол., каковая сумма включаетъ часть жалованія инженера; при сравненіи стоимости распределенія воды съ другими системами, надо имѣть въ виду чрезвычайныя условія этой системы, которая переживала только первые годы. Въ 1908 году содержаніе обошлось по 40 центовъ на акръ, но это ока-

залось недостаточнымъ и предполагается увеличеніе до 60 центовъ. Эта сумма приходится на каждый акръ, безразлично орошенный или нѣтъ, принадлежащій къ землѣ системы.

Общіе итоги.

Предыдущія описанія системъ распредѣленія воды могутъ очень помочь руководителю канала, задавшемуся разработкой или улучшеніемъ системы распредѣленія. Обсужденіе распредѣленія воды не можетъ быть полнымъ безъ изученія всѣхъ каналовъ, такъ какъ едва ли имѣется каналъ, который бы не обладалъ интересными особенностями отъ другихъ, просто потому, что одни и тѣ же вещи разными людьми выполняются различно. Поэтому, на основаніи изученія, считаю возможнымъ съ нѣкоторой увѣренностью набросать уже выработанные принципы распредѣленія воды, каковымъ и можно съ пользой слѣдовать въ цѣломъ или въ части каналовъ.

Способы распредѣленія воды.

Руководитель канала имѣетъ выборъ изъ трехъ главныхъ способовъ, и его выборъ въ сильной степени опредѣляетъ успѣхъ. Хотя онъ не долженъ пренебрегать мѣстными условіями и нуждами, онъ не долженъ въ тоже время впадать въ слишкомъ сильную зависимость отъ нихъ и не пользоваться опытами въ другихъ мѣстахъ.

1. Распредѣленіе постояннымъ токомъ.

Этотъ способъ примѣнялся сперва на громадномъ большинствѣ каналовъ страны, исключая Юты и Южной Калифорніи, и имъ пользуются теперь на нѣкоторыхъ каналахъ почти во всѣхъ Западныхъ Штатахъ и въ большей части Монтаны, Вайоминга и въ другихъ Штатахъ, обладающихъ аналогичными культурами, оросительнымъ періодомъ, воднымъ запасомъ и размѣрами личныхъ владѣній. Гдѣ водный запасъ великъ и площади хозяйствъ не менѣе 160 акровъ, этотъ способъ можетъ дать весьма удовлетворительные результаты, потому что величина потока, обычно примѣняемаго къ такимъ площадямъ, занятымъ обыкновенными культурами — 2 куб. фут. въ секунду, можетъ считаться экономичнымъ оросительнымъ потокомъ. Однако, гдѣ водный запасъ ограниченъ, какъ и наблюдается почти въ каждомъ оросительномъ районѣ этой страны, и хозяйства малы съ интенсивной обработкой, распредѣленіе постояннымъ потокомъ совершенно неудовлетвори-

тельно съ какой угодно точки зрѣнія. Происходитъ потеря времени и воды, развиваются слабые приемы полива и веденія хозяйства. Замѣчательное въ этомъ отношеніи исключеніе представляетъ каналъ Sunnyside въ Вашингтонѣ, гдѣ пользоваться малыми потоками, текущими въ маленькихъ бороздахъ—желательно, благодаря волнистой поверхности и строенію почвы. Распредѣленіе постояннымъ потокомъ изъ этого канала развилось и сопровождается отличными результатами, все-таки нужно замѣтить, что руководитель въ будущемъ намѣренъ измѣнить этотъ способъ.

2. Очередное распредѣленіе воды (Rotation).

Въ простѣйшей формѣ этотъ способъ практиковался между кооперативными общинами Моргонъ въ Ютѣ, гдѣ вода, текущая въ каналахъ, дѣлилась первоначально на основаніи орошаемой площади, каждый акръ получалъ весь несомый потокъ или какую-либо опредѣленную часть его въ теченіе условленнаго періода времени. Болѣе сложные условія большихъ каналовъ и болѣе разнообразныя культуры, заставляютъ стремиться пользоваться самыми удовлетворительными способами распредѣленія воды. Такъ практикуется въ Ютѣ, на лучшихъ каналахъ въ Колорадо и Калифорніи, почти всюду въ Аризонѣ и Новой Мексикѣ, на нѣкоторыхъ лучшихъ каналахъ въ Айдаго. Исключенія наблюдаются на такихъ каналахъ, какъ North Poudre и Consolidated Home Supply въ Колорадо, каналъ О-ва Riverside Water Company въ Калифорніи и Сѣверный каналъ въ Новой Мексикѣ, на каждомъ изъ которыхъ практически вода раздается по требованію, въ зависимости только отъ наличнаго воднаго запаса.

Существенная черта очереднаго водопользованія—экономія.

Величайшія потери при поливѣ происходятъ отъ пропусканія небольшихъ расходовъ воды по оросительной сѣти, благодаря сухости полей потокъ слишкомъ малъ для достаточнаго смачиванія обнаженной поверхности, увлажненіе происходитъ медленно и благодаря тому происходятъ быстрое испареніе при такихъ условіяхъ. Незбѣжныя потери побудили попробовать снабжать водой всѣ части обширной системы одновременно. Пользованіе большими потоками, текущими только въ продолженіе части времени въ одномъ отдѣлѣ магистралей и въ одномъ или двухъ главныхъ распредѣлителяхъ съ тѣмъ, чтобы позже направить ихъ въ другіе отдѣлы и распредѣлители, уничтожаетъ потери, уменьшаетъ время и необходимый персоналъ и создаетъ гораздо лучше результаты фермерамъ.

Очередное водопользованіе уменьшаетъ потери на испареніе и просачиваніе въ магистральныхъ и отвѣтвленіяхъ, благодаря возможности

увеличенія потока и его послѣдовательности и экономить время хозяевъ, обращающихся за водой, оно развиваетъ своевременность и быстроту обращенія, благодаря опредѣленности срока остановки потока, независимо отъ того успѣтъ-ли или не успѣтъ хозяинъ полить поля, исключаетъ потери происходящія при пользованіи постояннымъ потокомъ въ періодъ непользованія имъ, и весьма способствуетъ систематичности пользованія водой и ея распредѣленія. Фермеры не могутъ быть приучены расходовать воду при постоянномъ потокѣ съ той тщательностью и правильностью, какъ это можетъ быть сдѣлано точно разработанными расписаніями очередей (такъ распредѣляется вода въ East Riverside, Redlands и на другихъ оросительныхъ системахъ Южной Калифорніи, изъ канала Bear River въ Ютѣ). Если эти расписанія поддерживаются, фермеры сознаютъ, что они получаютъ свои соответствующія части въ правильныя очереди и могутъ составить свои опредѣленные планы полива. Когда слѣдуютъ опредѣленнымъ расписаніямъ, работа по приготовленію оросителей къ полученію воды или веденію учета объ использованныхъ количествахъ сводится до минимума. Другое достоинство очередного водопользованія, заключается въ томъ, что оно представляетъ собственнику 10 акровъ равныя шансы съ собственникомъ 50 акровъ въ обезпеченіе экономнаго полива. На системахъ съ постояннымъ потокомъ, водопользователь съ потокомъ около 10 дюймовъ будетъ принужденъ, безъ сомнѣнія, затрачивать на орошеніе своего поля столько же, сколько и фермеръ—съ 50 дюймами, орошающій площадь въ 5 разъ большую.

Распредѣленіе воды по требованію.

Этотъ способъ распредѣленія воды примѣняется на 4 самыхъ интересныхъ системахъ изъ описанныхъ въ этомъ бюллетенѣ—Riverside Water Company (Калифорнія), North Poudre и Consolidated Home Supply въ Колорадо и Northern Canal въ Новой Мексикѣ; также на системѣ Truckee-Carson въ Невадѣ, хотя на послѣдней лишь, какъ средство перехода къ очередному водопользованію, которое по всей вѣроятности, будетъ принято по окончаніи организаціи системы. Этотъ способъ распредѣленія можетъ съ выгодой примѣняться тамъ, гдѣ главные источники запаса воды представлены водохранилищами, общій полезный притокъ за сезонъ можетъ быть точно исчисленъ и гдѣ орошаемая площадь точно опредѣлена. Вода можетъ быть также легко измѣрена и немедленно отчужденъ фермерами, которымъ она продана. Они имѣютъ возможность выработать свои планы поливовъ, съ достовѣрностью зная впередъ, сколько акровъ сахарной свекловицы или картофеля можетъ быть занято въ сухіе лѣтніе мѣсяцы, и могутъ остановить воду на одну культуру, чтобы пустить ее на другую.

Персональ для обслуживанія распределенія воды.

Персональ, требующійся на обслуживаніе собственно распределенія воды зависитъ отъ размѣра системы, подлежащихъ орошенію культуръ и отъ принятаго способа распределенія. Вода, распределяемая на 12000 акрахъ, принадлежащихъ 520 фермерамъ, изъ канала Davis and Weber Counties въ Ютѣ обслуживается 4-мя человѣками при ежегодной стоимости въ 10 центовъ на акръ. На Фермерскомъ каналѣ въ Монтанѣ 60 оросителей поливаютъ 15000 акровъ, и здѣсь заняты по распределенію воды, исключая президента О-ва, ведущаго общій надзоръ, только одинъ надсмотрщикъ, и то 2 мѣсяца въ году. Въ тоже время на каналѣ Gage, гдѣ орошается менѣе 9000 акровъ по распределенію воды, заняты: главный инженеръ, два занжеро или наблюдателей за каналами, три помощника занжеро и три рабочихъ, кромѣ того, завѣдывающій водными источниками и 4 человѣка по наблюденію за насосными установками, одинъ плотникъ, два человѣка по ремонту трубопроводовъ и 6 человѣкъ по очисткѣ канала. Разница въ силахъ, занятыхъ по распределенію воды на этихъ каналахъ происходитъ отъ разницы въ способахъ распределенія и отъ разницы требованій. Въ одномъ случаѣ вода, распределяется постояннымъ токомъ по владѣніямъ площадью въ 250 акровъ въ среднемъ, занятымъ обычными культурами, въ другомъ, вода распределяется по видоизмѣненному способу очередей, по тщательно культивируемымъ лимоннымъ рощамъ. Занятый персональ долженъ быть свѣдущъ, хорошо обученъ, тактиченъ, терпѣливъ и трудолюбивъ. На общественныхъ системахъ, гдѣ одинъ изъ фермеровъ выбирается для производства работъ, почти невозможно избѣжать нареканій въ пристрастіи и недобросовѣстности по отношенію къ себѣ. На большинствѣ каналовъ инженеръ или руководитель при веденіи общаго надзора нуждается въ особомъ завѣдывающемъ, который проводилъ бы все время въ полѣ, входя въ личныя сношенія съ потребителями воды и подробно направляя работу надсмотрщиковъ или занжеро. На нѣкоторыхъ системахъ дѣлается серьезная ошибка тѣмъ, что стремятся обходиться безъ главнаго наблюдателя, предполагая, что инженеръ не только долженъ содержать каналъ и слѣдить за воднымъ запасомъ въ немъ, но и руководить всѣми подробностями распределенія воды; ни одна изъ системъ не имѣла успѣха при такой организаціи.

Хорошій составъ надсмотрщиковъ или занжеро — другая существенная часть, такъ какъ черезъ этихъ лицъ руководитель входитъ въ соприкосновеніе съ оросителями. Ороситель ждетъ своей доли воды при наступленіи очереди, и желаетъ имѣть свою струю постоянной за

все время очереди, и, естественно его неудовольствие, если онъ лишенъ чего нибудь. Къ несчастью, нѣкоторые оросители не брезгаютъ присвое-ніемъ части воднаго запаса своихъ сосѣдей, а нѣкоторые подозрѣваютъ въ нечестности надсмотрщика. Для того чтобы уничтожить такіа подозрѣ-нія и устранить неправильности, надсмотрщикъ долженъ быть твердъ и тактиченъ. Лучшій надсмотрщикъ есть тотъ, кто былъ самъ хозяиномъ и можетъ оцѣнить тотъ вредъ, который происходитъ отъ несвоевремен-наго или неаккуратнаго доставленія воды.

Если дѣлаются замѣры, надсмотрщикъ долженъ быть знакомъ съ единицами и элементарными приѣмами измѣреній, и, если ведутся отчеты по распредѣленію, онъ обязанъ быть систематиченъ въ своихъ обычаяхъ и отвѣтствененъ за указанія. Reclamation Service требуетъ отъ надсмотр-щиковъ полнѣйшаго повиновенія установленнымъ правиламъ. На боль-шинствѣ частныхъ системъ отъ надсмотрщиковъ ждутъ всегда внима-тельнаго отношенія, какъ къ интересамъ потребителей, такъ О-ва или другой организаціи, представляющей собственника системы. Хотя въ спорахъ хорошіе надсмотрщики вѣроятно окажутся болѣе правы нежели потребители, все-таки они подвержены ошибкамъ, и потребители воды должны быть готовы къ наблюденію за ошибками. Хорошій надсмотр-щикъ долженъ быть такъ же тактиченъ какъ и опытенъ, а его воз-награжденіе должно увеличиваться со службой.

Правила и уставы по распредѣленію воды.

Безспорно писанныя правила и постановленія—желательное пособіе въ распредѣленіи воды. На нѣкоторыхъ каналахъ правила предусматри-ваютъ почти всякое видоизмѣненіе распредѣленія, на другихъ заклю-чаютъ только главные принципы. Нельзя дать сборника правилъ, примѣнимаго ко всѣмъ условіямъ, но главные пункты могутъ быть изложены.

Планъ распредѣленія.—Планъ распредѣленія воды, дѣйствительно имѣющій силу, долженъ быть простъ настолько, чтобы не возникало никакихъ вопросовъ въ умахъ надсмотрщиковъ и оросителей. Не-исполнимый планъ, часто набрасываемый въ правилахъ, и слѣдованіе другому плану приводитъ къ путаницѣ въ умахъ потребителей воды, и оказывается вѣроятной причиной тренія между ними и надсмотр-щиками.

Допускаемое количество воды. Правила должны заключать уста-новленное количество воды, на которое каждый потребитель имѣетъ право въ видѣ ли пропорціональной части всего запаса, постоянной ли струи опредѣленнаго количества дюймовъ на акръ или же опредѣ-

ленного количества, какъ напр., извѣстное число акро-футовъ или 24-часовыхъ дюймовъ въ годъ.

Обязанности и власть заведывающаго и надсмотрщиковъ. Перечень обязанностей этихъ лицъ долженъ постоянно имѣться при нихъ и оросителяхъ. Обязанности такихъ должностныхъ лицъ могутъ быть опредѣлены только въ общемъ, такъ какъ они встрѣчаются постоянно съ случайностями, которыхъ никакъ нельзя предусмотрѣть. Должно быть ясно указано, что вмѣшательство во впуски не можетъ быть терпимо, и что несоблюденіе этого правила будетъ достаточнымъ основаніемъ для прекращенія отпуска воды провинившемуся оросителю или до уплаты штрафа или же до слѣдующей очереди. Можно такъ же увеличить усердіе и производительность менѣе добросовѣстныхъ надсмотрщиковъ, если только будетъ въ силѣ такое правило, по которому каждый ороситель зналъ бы, что отъ надсмотрщиковъ требуется совершеніе правильныхъ объѣздовъ своихъ участковъ для осмотра распределенія и полученія порученій отъ оросителей.

Заявленія на воду и извѣщенія объ отпускѣ ея. На большинствѣ системъ отъ оросителей требуется дѣлать заявленія, на воду, иногда независимо отъ того слѣдуютъ или нѣтъ опредѣленному расписанію распределенія. Заявленія часто требуются въ письменной формѣ и по меньшей мѣрѣ за три дня до отпуска. Гдѣ требуются письменныя заявленія, необходимо снабжать печатными бланками въ удобной формѣ.

Потери воды.—Должно быть правило, воспреещающее непродуманныя траты воды подъ угрозой прекращенія притока или уменьшенія количества на величину этой потери.

Жалобы.—На нѣкоторыхъ системахъ отъ оросителей требуется дѣлать всѣ жалобы письменно и въ опредѣленное время, напр., черезъ пять дней послѣ свершенія обжалуемаго дѣйствія.

Единицы и методы замѣра.—Примѣняемыя единицы замѣра воды нуждаются въ ясномъ опредѣленіи. Также важно, чтобы правила, опредѣляющія и описывающія методы измѣренія, исполнялись. Они должны быть вполне поняты надсмотрщиками, которые обязаны быть свѣдущими въ пользованіи или должны имѣть необходимыя таблицы.

Водные налоги.—Гдѣ установлены опредѣленные налоги за воду, расцѣнки должны быть включены въ книгу правилъ, такъ какъ фермеры предпочитаютъ имѣть такія данныя въ удобной формѣ.

Кто имѣетъ право на полученіе воды.—Часто налагаются ограниченія на тѣхъ, кто можетъ получать воду, и эти ограниченія должны быть включаемы въ правила.

Ведение отчетности.

Подобно тому, какъ порядокъ и система составляютъ неотъемлемую часть всякаго коммерческаго предпріятія, они также должны быть присущи всякому хорошо организованному ирригаціонному предпріятію. Цѣнность правильной отчетности, какъ основы успѣшной организаціи и исчисленія прибыли, здѣсь вѣроятно больше, чѣмъ въ какомъ-либо другомъ коммерческомъ предпріятіи, потому что ирригаціонное предпріятіе, при одинаковой затратѣ капитала, вмѣщаетъ въ себѣ интересы большей важности и приноситъ большіе доходы, нежели какое-либо другое коммерческое предпріятіе, за исключеніемъ развѣ желѣзныхъ дорогъ. Веденіе отчетности на многихъ каналахъ сильно содѣйствовало бы экономіи въ пользованіи водой оросителями, уменьшило бы тренія между ними и надсмотрщиками, и облегчило бы работы руководителя. *Отчеты о расходѣ воды.*—Большинство системъ, стремясь къ бережному пользованію водой, ведутъ ежедневныя записи о количествѣ ея, поступившей въ каналъ, что весьма необходимо въ случаѣ, когда изъ одного и того же источника получаютъ свои запасы разныя системы, и когда вода распределяется по каналамъ подѣ общественнымъ надзоромъ, какъ въ Колорадо, Вайомингѣ, въ Ютѣ, Невадѣ и въ нѣкоторыхъ другихъ Штатахъ. Независимо отъ значенія отчета о расходахъ въ оросительномъ каналѣ для установленія необходимой струи, отчетъ этотъ показываетъ изъ года въ годъ, какое можно ожидать увеличеніе требованій или возрастаніе оросительной способности воды съ увеличеніемъ орошаемой площади и размѣръ потерь, происходящихъ отъ плохой практики орошенія. Величайшая же цѣнность отчетовъ, заключается въ томъ, что они даютъ основы раздачи воды оросителямъ. Отчеты о расходахъ воды въ главныхъ распредѣлителяхъ не ведутся правильно, но были бы вѣроятно цѣнны на системахъ, гдѣ каждое главное отвѣтвленіе является отдѣльнымъ райономъ.

Отчеты о распредѣленіи по отдѣльнымъ потребителямъ.—Всюду, гдѣ достигнуто то состояніе въ жизни ирригаціоннаго предпріятія, когда пользованіе водой начинаетъ уже превышать, стѣснять полезный притокъ, очень важно производить замѣры и вести отчеты о распредѣленіи воды по отдѣльнымъ потребителямъ. Важность этого не всегда признается; такъ на многихъ большихъ системахъ эти отчеты не ведутся, хотя они вполнѣ окупили бы себя. Однако въ этомъ дѣлѣ достигнуть большой прогрессъ за послѣдніе 10 лѣтъ, обязанный въ большой степени измѣненію основъ распредѣленія воды и налоговъ на нее. Капиталистическіе или корпоративные каналы прежде облагались за

воду по расцѣнкѣ на акръ площади, но этотъ способъ уступилъ мѣсто налогу за воду, дѣйствительно отпущенную, что дѣлаетъ распределительные замѣры существенными.

Примѣняемая и желаемая формы отчетности.

При описаніи различныхъ распределительныхъ системъ были сдѣланы подробные отзывы о примѣняемыхъ формахъ отчетовъ, и въ соответствующихъ мѣстахъ были даны копіи ихъ. Таковыя, можетъ быть, окажутся болѣе убѣдительными изъ нижеслѣдующаго описанія.

Запись расхода въ магистралахъ и отвлѣченіяхъ.—Эта форма проста, и практически можетъ примѣняться одна на всѣхъ системахъ. Требуется только мѣсто для названія канала, пункта замѣра, ежедневныхъ отсчетовъ по рейкѣ съ временемъ ихъ производства, и расхода, выраженнаго въ принятыхъ единицахъ измѣренія. Она можетъ быть приготовлена въ удобной формѣ книжки или съ отрывными листами, какъ обозначено, или въ видѣ летучей карточки. Рекомендуемая форма дается ниже:

Форма, рекомендуемая для предварительнаго отчета о расходѣ воды въ магистралахъ и отвлѣченіяхъ.

Названіе канала.					
Мѣсячный отчетъ о расходѣ въ					
въ за мѣсяцъ 191 г.					
Замѣры произведены					
Дни.	Время.	О Т Ч Е Т Ы.		Расходъ въ куб. фут. въ	
		Футы.	Десятыя.	секунду.	
1. . . .					
2. . . .					
3. . . .					
4. . . .					

Это поле для переплета.

Дневникъ надсмотрщика.—Эти дневники не имѣютъ определенной формы для веденія, хотя на нѣкоторыхъ системахъ они очень цѣнны. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ предварительные отчеты дѣлаются по черновымъ замѣткамъ, посылаемымъ въ контору канала, но черновой книги не ведется. Цѣнность этихъ дневниковъ часто обнаруживается при спорахъ о правахъ, и бываетъ много случаевъ, когда надлежаще ведущійся дневникъ удовлетворительно разрѣшаетъ серьезные споры.

Хорошіе дневники ведутся сторожами на каналѣ Sunnyside, тщательно обрабатываемые въ конторѣ въ концѣ сезона. Они представляютъ книжки 5×9 дюймовъ, содержащія по 232 страницы, пригодны для пользованія на одинъ сезонъ, страницы не нумеруются, имѣется мѣсто для обозначенія дня, мѣсяца и года. Переплетъ изъ крѣпкаго картона и холста для обезпеченія цѣлости. Отчеты о расхѣдѣ въ каналахъ или отвѣтвленіяхъ не входятъ въ нихъ, но для полученія этихъ отчетовъ вставляется карточка 4×8 дюймовъ внутри передней крышки. Каждая карточка пригодна на одну недѣлю, заполняется при обходахъ участковъ и въ концѣ недѣли отсылается въ контору для исполненія. Пункты замѣра, съ размѣромъ водослива въ каждомъ заключаются въ лѣвомъ столбцѣ, правый служитъ для занесенія расхода воды въ каждый день недѣли.

Отчеты о раздачѣ воды оросителямъ.—Для веденія отчетовъ о раздачахъ воды оросителямъ въ употребленіи большое разнообразіе формъ, потому что много и различныхъ условій раздачи: отчеты ведутся въ видѣ карточекъ, листовъ и книгъ различныхъ формъ. Одна изъ простѣйшихъ формъ—карточка—примѣняется на системѣ Truckee-Carson, копія которой воспроизводится ниже. Такая карточка заполняется и ежедневно отсылается въ контору. Пользуясь обѣими сторонами можно помѣстить отчетъ о 40 отпускахъ. (См. табл. на стр. 358).

Добавивъ въ указанную форму орошаемая культура, можно примѣнить ее къ другимъ системамъ; исключая столбцы для количества розданной воды, ее можно приспособить къ системѣ, на которой не поставлены приспособленія для замѣра воды оросителямъ. Въ формахъ, употребляющихся надсмотрщиками на системѣ Truckee-Carson, часы обозначены отъ 1 до 24, при чемъ 1 соотвѣтствуетъ 1 часу ночи, а 24—12 час. полночи, такъ дѣлается во избѣжаніе смѣшенія часовъ утра и послѣполуденныхъ.

Книги для записи отчетовъ о частныхъ отпускахъ приняты на каналахъ: North Poudre, Larimer County, Consolidated Home Supply, Santa Ana Valley и Bear River, и на каналѣ Sunnyside. Наилучшія книги для этой цѣли размѣра карманныхъ, крѣпко переплетенныя и содержащія надлежащіе столбцы и заголовки. Листъ изъ такой книги, примѣняющейся на одномъ изъ каналовъ Калифорніи, показанъ ниже.

Отчетъ о раздачѣ воды.

Мѣсяцъ День 190

Фамиліи потребителей.	Отъ	До	Фут. въ сек.	Акр.-фут.

. Надсмотрщикъ.

Форма отдѣльнаго листа для веденія отчета о раздачахъ воды оросителямъ на каналѣ въ Калифорніи.

Отчетъ о поливѣ изъ канала Div Co.								
Отпускъ воды разрѣшенъ (такимъ-то)								
На счетъ (того-то)								
Орошаемая земля								
Г R Отд. Участки Акровъ								
Отъ впуска.	Начало отпуска.		Конецъ отпуска.		Продол- жител. потока.	Размѣръ отверстій.		
	(День) 190—	Часы.	День.	Часы.		верхъ.	низъ.	глуби- на.
Культура Почва Разстоян. отъ канала								
. Zanjero.								
Состояніе канавы отпуска								

(Надпись на другой сторонѣ).

Форма водной расписки, заполняемой надсмотрщиками и подписываемой оросителями въ ирригаціон. районѣ Модесто въ Калифорніи.

ВОДНАЯ РАСПИСКА.	
Отвѣтвление №	Выпуска №
Вода получалась.	
День	
Часовъ	
На площадь акр.	
Культура	Т О Ж Е.
Отъ воды отказался по	
День предложенія	
Причина отказа	
.	
. Ороситель.	
. Надсмотрщикъ.	

Главныя водныя книги.—Примѣненіе главныхъ или другихъ книгъ для занесенія записей сезонныхъ или мѣсячныхъ раздачъ—особенность отчетности нѣкоторыхъ системъ. Главныя книги различнаго рода ведутся, какъ было указано, на каналахъ: North Poudre, Gage, Consolidated Home Supply, Northern, Truckee-Carson и Sunnyside.

Плата за воду.

При опредѣленіи платы за воду слѣдуетъ признать наиболѣе мудрой и обоснованной расцѣнку по количеству воды, а не по числу орошаемыхъ акровъ. Въ кооперативныхъ или смѣшанныхъ обществахъ, этотъ вопросъ не поставленъ правильно, такъ какъ собственникъ участка имѣетъ право на свою часть изъ протекающаго запаса. Гдѣ вода продается оросителямъ, этотъ вопросъ важенъ. Обложеніе по количеству орошаемыхъ акровъ оказалось неудовлетворительнымъ и для

потребителей и для оросительных обществ и несправедливым по отношенію къ бережнымъ оросителямъ, требуя отъ нихъ такую же плату, какую небрежный сосѣдъ вносить за двойное количество воды. Плата за дѣйствительно получаемую воду и по одинаковой расцѣнкѣ какъ за использованную, такъ и потерянную, создаютъ не только уменьшеніе общаго расхода, но и оказываютъ благотворное орошаемой землѣ. Это также даетъ возможность увеличить орошаемую площадь, что является полезнымъ, какъ для оросителей, такъ и для общества. Къ сожалѣнію такая совершенная ирригаціонная практика не можетъ быть приложена къ сотнямъ оросительныхъ системъ, гдѣ вода не продается оросителямъ. Тотъ же результатъ можетъ быть достигнутъ, постепенно сообразуя налоги на воду съ количествомъ ея, израсходованнымъ сверхъ полагающейся по праву принадлежащихъ паевъ: такъ дѣлается на маленькихъ каналахъ на р. Худъ въ Орегонѣ. Очень удобный способъ расчета водныхъ налоговъ практикуется Imperial Water Company № 1 въ Калифорніи. Въ этой системѣ уплачивается 50 центовъ за акро-футъ, а такъ какъ 2 акро-фута воды практически эквивалентно 1 куб. футу въ секунду въ продолженіи 24-хъ часовъ (точно 1,9834 акро-фута), что составляетъ 1 дол. за расходъ въ 1 куб. фут. въ секунду въ теченіе 24 часовъ. Струя черезъ измѣрительный ящикъ, выражаемая въ кубическихъ футахъ въ секунду, соответствуетъ платѣ за воду, отдѣляя два десятичныхъ знака. Чтобы не дѣлать вычисленій въ полѣ приготовлены и отпечатаны таблицы, указывающія съ одного взгляда плату за воду при различныхъ условіяхъ замѣра. Измѣренія производятся черезъ водосливы и затопленные отверстія подъ давленіемъ, и употребляемыя таблицы пригодны для водосливовъ до 48 дюймовъ длиной и для слоя воды въ 10 дюймовъ надъ гребнемъ и къ затопленнымъ отверстіямъ до той же длины и глубины съ давленіемъ отъ 1,5 до 14 дюймовъ.

Ниже приведена копія таблицы для затопленныхъ отверстій подъ напоромъ въ 6 дюймовъ. Лѣвый вертикальный столбецъ обозначаетъ высоты, а верхняя горизонтальная строка—длины отверстій. Если высота отверстія—5 дюймовъ и длина—36 дюймовъ, слѣдующая плата найдется въ столбцѣ противъ графъ 36 и 5, и равна 4,41 долларамъ.

Стоимость распредѣленія воды.

Ниже даны копіи двухъ таблицъ, опредѣляющихъ стоимость распредѣленія воды на нѣкоторыхъ типичныхъ изъ описанныхъ системъ. Первая таблица относится къ каналамъ или О-вамъ, для которыхъ въ стоимость распредѣленія входятъ и раздачи отдѣльнымъ хозяевамъ;

Таблица применяемая для исчисления платы за воду, протекающую через отверстия под напором в 6 дюймов на Imperial каналъ № 1.

Высота отвер- стїя въ дюй- махъ.	Длина отверстїя въ дюймахъ.															
	30	32	33	34	35	35½	36	37	38	39	40	42	44	46	48	
1	73	78	81	83	86	87	88	91	93	96	98	103	108	113	118	
1½	110	118	121	125	129	130	132	136	140	143	147	154	162	167	176	
2	147	157	162	167	171	173	176	181	186	191	196	206	216	225	235	
2½	184	196	202	208	214	217	220	227	233	239	245	257	269	282	294	
3	220	235	243	250	257	261	265	272	279	287	294	309	323	338	353	
3½	257	274	283	292	300	304	309	317	326	334	343	360	377	394	412	
4	294	314	323	333	343	348	353	363	372	382	392	412	431	451	470	
4½	321	353	364	375	38	391	397	408	419	430	441	463	485	507	529	
5	367	392	404	416	429	435	441	453	465	478	490	514	539	563	588	
5½	404	431	445	458	472	478	485	499	512	526	539	566	593	620	647	
6	441	470	485	500	514	521	529	544	559	573	588	617	647	676	706	
6½	478	510	526	541	558	565	573	589	605	621	637	667	701	733	764	
7	514	549	566	583	600	608	617	635	652	669	686	720	755	789	823	
7½	551	588	606	625	643	652	661	680	698	716	735	772	808	845	882	
8	588	627	647	666	686	696	706	725	745	764	784	823	862	902	940	
8½	625	666	687	708	729	739	750	771	791	812	833	875	916	958	1.000	
9	661	706	728	750	772	783	794	816	838	860	882	926	970	1.014	1.058	
9½	698	745	768	791	815	826	838	861	884	908	931	978	1.024	1.071	1.117	
10	735	784	808	833	857	868	882	906	931	955	980	1.029	1.078	1.117	1.176	

вторая относится къ системамъ, стоимость распределенія которыхъ составляется только изъ распределенія по отвѣтвленіямъ, распределеніе же по хозяйствамъ предоставлено самимъ потребителямъ воды. Въ первомъ случаѣ средняя ежегодная стоимость на акръ — 41,5 цента, въ послѣднемъ только — 7,5 цента. Большія стоимости на нѣкоторыхъ Калифорнскихъ системахъ въ первой таблицѣ обязаны большому количеству потребителей и маленькимъ размѣрамъ ихъ владѣній, послѣднія

въ среднемъ на Редландской системѣ равны 8 акрамъ, въ то время, какъ на каналѣ Consolidated Home Supply—почти 154 акра. Во второй таблицѣ низкая стоимость на Фермерскомъ каналѣ—результатъ краткости ирригаціоннаго періода, (только 2 мѣсяца), и того факта, что воздѣлываемыя культуры, главнымъ образомъ,—хлѣбъ, клеверъ и люцерна, и наконецъ того, что владѣнія въ среднемъ равны 250 акрамъ. Годовая стоимость распредѣленія воды на акръ на 13 типичныхъ системахъ, гдѣ включены и раздачи воды потребителямъ.

О Б Щ Е С Т В О И Л И С И С Т Е М А .	Стоим. на акръ.
	Доллар.
Каналь Gage Company, Калифорнія	0,54
Водная Компанія East Riverside, Калифорнія	0,95
Водная Компанія Riverside, Калифорнія	0,73
Редландская Водная Компанія, Калифорнія	1,30
Азуская Ирригаціонная Компанія, Калифорнія	0,48
Модестскій Ирригаціонный Районъ, Калифорнія	0,40
Каналь North Poudre, Колорадо	0,16
Каналь Consolidated Home Supply, Колорадо	0,15
Каналь Bear River, Юта	0,16
Каналь South Jordan, Юта	0,15
Каналь Utah and Salt Lake, Юта	0,09
Каналь Vorthern, Новая Максика	0,15
Каналь Темпскій, Аризона	0,14
Въ среднемъ	0,415

Годовая стоимость распредѣленія воды на акръ на 4 типичныхъ каналахъ, гдѣ въ стоимость включено распредѣленіе только по отвѣтвленіямъ.

К О М П А Н І Я И Л И С И С Т Е М А .	Стоим. на акръ.
	Доллары.
Рокфордскій Каналь, Колорадо	0,08
Уитландскій Каналь, Вайомингъ	0,11
Фермерскій Каналь, Монтана	0,015
Каналь Davis and Veber Conties, Юта	0,10
Въ среднемъ	0,075

Организація водопользованія по отвѣтвленіямъ.

При обсужденіи плана распредѣленія воды возникаетъ вопросъ объ отдѣльной организаціи получателей воды изъ одного и того же отвѣтвленія, что часто оказывается желательнымъ, такъ какъ это приводитъ къ экономіи и простотѣ управленія. Оросители предпочитаютъ имѣть сношенія съ кѣмъ-нибудь изъ своей среды по распредѣленію имъ воды, и всегда обнаруживается неудовольствіе, когда этого нѣтъ. На большинствѣ системъ Завѣдывающій бываетъ такъ занятъ, что онъ рѣдко отлучается отъ магистрали или главныхъ отвѣтвленій, представляя надсмотрщикамъ по возможности приспособляться къ разнымъ оросителямъ отвѣтвленій. Фермеры иногда успѣваютъ сдѣлать больше, если они выбираютъ и руководятъ надсмотрщиками своего отвѣтвленія сами, какъ и дѣлается на маленькихъ системахъ въ Ютѣ и въ другихъ мѣстахъ, какъ напр. на каналахъ South Jordan и Utah and Salt Lake. Кромѣ того, дѣла системы должны протекать болѣе успѣшно, если обязанности Инженера или Завѣдывающаго кончаются съ поддержаніемъ потока въ магистрали и съ распредѣленіемъ всего запаса воды по распредѣлителямъ, какъ дѣлается на каналѣ Larimer County и на множествѣ другихъ каналовъ въ орошаемыхъ областяхъ. Однако на этихъ каналахъ оросители изъ одного и того же отвѣтвленія работаютъ просто по общему соглашенію между собой въ томъ, что одинъ изъ ихъ среды долженъ слѣдить за тѣмъ, чтобы соблюдалась очередь каждого и каждый получалъ бы соответствующую долю. На распредѣлителяхъ съ 50 или 100 оросителей, однако, или необходимо болѣе определенное согласіе или же долженъ быть нанятъ Завѣдывающій отъ О-ва. Отдѣльныя организаціи отвѣтвленій, каждая съ собственными завѣдующими, надсмотрщиками и кассой, имѣются на Уитландскомъ каналѣ, и всѣ дѣла отвѣтвленій, и по содержанію и эксплуатаціи, ведутся соответствующими организаціями, независимо отъ главнаго О-ва канала. Главный Завѣдывающій здѣсь призывается на помощь для разрѣшенія споровъ. Въ противовѣсъ идеѣ отдѣльныхъ организаціи распредѣлителей, въ ирригаціонномъ районѣ Модесто большія частныя отвѣтвленія, до недавняго времени управлявшіяся независимо отъ района, теперь имъ взяты подъ свое наблюденіе по просьбѣ оросителей, полагая, что вода будетъ дѣлиться райономъ болѣе удовлетворительно. Съ другой стороны, руководители двухъ системъ Reclamation Service, уже описанныхъ, ждутъ того времени, когда потребители различныхъ отвѣтвленій сорганизуются для распредѣленія воды, а руководитель системы Sunnyside производитъ уже въ этомъ направленіи шаги.

Насколько извѣстно, наиболѣе полно въ этомъ направленіи организаціи отвѣтвленій развиты на каналѣ Amity, въ Колорадо, которые

составили независимыя общества по законамъ этого Штата. Въ среднемъ орошаемая девятью распредѣлителями площадь — 20000 акровъ. Распредѣлители были сооружены О-вомъ канала Amity, но для содержанія и управленія были передаваемы организаціямъ отвѣтвеній, О-во удержало за собой по отвѣтвеніямъ права заселенія площадей подъ ними. Этотъ способъ организаціи нѣсколько подобенъ таковому каналовъ долины Imperial въ Калифорніи, гдѣ О-во California Development Co, заселяя, контролируетъ непроданные участки различныхъ водныхъ обществъ, которые являются въ сущности организаціями большихъ отвѣтвеній одной большой системы. Весьма совершенныя и вполне самостоятельныя дѣйствующія организаціи отвѣтвеній имѣются также на каналахъ вокругъ Фресно въ Калифорніи.

Организаціи отвѣтвеній, съ обязанностями по распредѣленію воды не практичны тамъ, гдѣ вода продается потребителямъ по опредѣленной цѣнѣ. При такихъ условіяхъ необходима опредѣленная контролирующая власть, также какъ и единая система распредѣленія и налоговъ. Гдѣ вода дѣлится и облагается на годъ и система слишкомъ велика для того, чтобы Завѣдывающій могъ управиться лично съ обязанностями по распредѣленію, такія организаціи очень цѣнны: онѣ легче могутъ произвести дѣлежъ, увеличиваютъ заинтересованность оросителей въ управленіи системой, умѣряя такимъ образомъ свой антагонизмъ: онѣ облегчаютъ обязанности Завѣдывающаго и въ то же время увеличиваютъ производительность при выполненіи имъ дѣлежа по отвѣтвеніямъ и управленію магистральями, соблюдая ихъ цѣлость и чистоту.

Измѣренія воды.

Записи о количествахъ отпущенной воды отдѣльнымъ потребителямъ становятся важными какъ только расходъ воды достигаетъ полезнаго притока, такъ какъ является необходимость ограничивать каждого оросителя количествомъ, полагающимся по договору или правамъ на воду въ каналѣ. Это можетъ быть сдѣлано только замѣрами воды, поступающей въ отвѣтвенія, изъ которыхъ потокъ дѣлится на основаніи времени, или замѣромъ воды по отдѣльнымъ потребителямъ, и разработка практическихъ деталей замѣра воды — одинъ изъ труднѣйшихъ вопросовъ распредѣленія воды. Многіе каналы орошаютъ землю, расположенную почти на высотѣ уровня воды, текущей въ каналахъ, создавая настолько малое паденіе, что примѣненіе измѣрительныхъ устройствъ невозможно. На другихъ каналахъ, гдѣ имѣется достаточное паденіе для примѣненія измѣрительныхъ приборовъ, часто бываютъ такія колебанія въ расходѣ, что даже приблизительная точность можетъ быть достигнута только частыми отсчетами измѣрительныхъ приборовъ или

примѣненіемъ самопишущихъ приборовъ. Последніе, однако, не практичны для пользованія на отвѣтвленіяхъ въ хозяйствахъ, такъ какъ работающіе точно — дороги и требуютъ внимательнаго и осторожнаго обращенія. Въ попыткѣ преодолѣть эти трудности многіе инженеры дѣлали опыты съ спеціальными водомѣрами, предназначенными для точныхъ измѣреній всякихъ потоковъ съ минимумомъ потерь, для возможности непосредственныхъ отсчетовъ въ опредѣленныхъ единицахъ и доступныхъ средствамъ оросителей по конструкціи и установкѣ. До тѣхъ поръ пока какой-нибудь приборъ не усовершенствуется и не сдѣлается дѣйствительнымъ, оросители должны считаться съ болѣе или менѣе неудовлетворительными приборами, примѣняемыми теперь. Технические описанія ихъ можно найти въ различныхъ бюллетеняхъ, опубликованныхъ этими Бюро и различными сельско-хозяйственными опытными станціями, а также и въ книгахъ по технике орошенія¹⁾. Тѣмъ не менѣе здѣсь можно установить, что въ случаѣ достаточнаго паденія водосливы Чиполлетти—одни изъ самыхъ удовлетворительныхъ извѣстныхъ приборовъ. Какъ установлено при описаніи системы Sunnyside, приборъ особенно цѣненъ въ случаѣ небольшихъ колебаній потока въ каналѣ. Когда паденіе очень мало и колебанія значительны, весьма желательно примѣненіе нѣкоторыхъ формъ затопленныхъ отверстій, такъ изъ всѣхъ примѣняемыхъ приборовъ они позволяютъ измѣрять воду съ наименьшими потерями и погрѣшностями.

Заключеніе.

Умѣніе управлять ирригаціонными предпріятіями — одинъ изъ наиболѣе плодотворныхъ предметовъ земледѣльской экономіи. Общество заинтересовано въ этомъ, желая видѣть въ примѣненіи къ запасамъ богатства страны самые экономные и дѣловые принципы. Ороситель заинтересованъ вслѣдствіе близости своихъ отношеній къ каналу.

Распредѣленіе воды составляетъ часть управленія орошеніемъ, ближайшимъ образомъ соприкасающуюся съ тѣми, кто пользуется водой. Завѣдывающій и наблюдатель представляютъ лицъ, доставляющихъ потребителямъ водный запасъ, и все, что можетъ помочь имъ въ совершенствованіи и выполненіи плана распредѣленія.

Этотъ очеркъ представляетъ факты, относящіеся къ распредѣленію воды въ различныхъ Штатахъ и областяхъ и его цѣль,—содѣйствіе распространенію наилучшихъ принциповъ водопользованію. Въ то время какъ

¹⁾ Бюллетени Опытныхъ Станцій: въ Колорадо, бюл. 27; въ Монтанѣ, бюл. 34 и 72; въ Вайомингѣ, бюл. 53; „Спеціальныя Инструкціи Наблюдателямъ“ главнаго инженера Юты 1898 года; бюл. 86 Бюро Опытныхъ Станцій Департамента Земледѣлія Соединенныхъ Штатовъ.

распределенія воды удивительны и обнаруживают тщательное отношеніе къ себѣ, нѣкоторыя изъ нихъ только удовлетворяютъ организаціи, или представляютъ наилучшее, что могло быть достигнуто. Тѣмъ не менѣе всѣ онѣ даютъ нѣкоторыя практическія результаты. Му руководителю ирригаціи, разрабатывающему планы ирригаціи. Особенно поучительны планы и детали, выработанные различными системами лучшихъ каналовъ въ Южной Калифорніи: Coach Poudre, Larimer County; Consolidated Home Supply въ Колорадо, Bear River въ Ютѣ, Northern въ Новой Зеландіи, системы Reclamation Service. На большинствѣ системъ распределенія воды оригинальны и не являются подражаніемъ. Изъ главныхъ идей во многихъ областяхъ, то онѣ развивались независимо отъ развитія тѣхъ же идей въ другихъ мѣстахъ, то являлись результатомъ достигнутого уже раньше.
